



**GOVERNO FEDERAL**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**RAYNNER MENEZES LOPES**

**ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO  
PÚBLICO DA ILHA DO MOSQUEIRO, MUNICÍPIO DE BELÉM - PA**

**BELÉM 2015**

**RAYNNER MENEZES LOPES**

**ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO  
PÚBLICO DA ILHA DO MOSQUEIRO, MUNICÍPIO DE BELÉM - PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Instituto Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Linha de pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento. Área de concentração: Saneamento.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria de Lourdes  
Souza Santos

**BELÉM 2015**

**RAYNNER MENEZES LOPES**

**ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO  
PÚBLICO DA ILHA DO MOSQUEIRO, MUNICÍPIO DE BELÉM - PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Instituto Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Linha de pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento. Área de concentração: Saneamento.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria de Lourdes  
Souza Santos

Data da Aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Banca Examinadora:

---

Maria de Lourdes Souza Santos (Orientadora).  
Doutora em Oceanografia.  
Universidade Federal Rural da Amazônia.

---

André Luis de Lima Saraiva.  
Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.  
Faculdade Maurício de Nassau.

---

Hélio Rodrigues dos Santos.  
Doutor em Hidráulica e Saneamento.  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

---

Luiza Carla Girard Teixeira Mendes.  
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido.  
Universidade Federal do Pará.

## DEDICATÓRIA

*A minha mãe Solange Cecília Menezes e ao meu irmão Raydan Menezes. Que permaneçamos sempre juntos.*

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe Solange Cecília Poça Menezes por toda dedicação e apoio ao longo de minha vida.

Ao meu irmão Raydan Menezes Shiozaki, Chunhada Shirley Yuri Shiozaki e Sobrinha Laura Rayumi Shiozaki pelos momentos de união.

A Thaise Daniele Teixeira por resistir, junto a mim, a mais esta etapa.

Ao Gilson Castro, Liane Tavares, Lindomar Rodrigues, Eduardo Siqueira e Jason Santana pela amizade e momentos de descontração.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFPA, por possibilitar aos profissionais do Saneamento do Pará a consolidação na carreira acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento.

À Prof. Dra. Maria de Lourdes pela orientação e motivação no desenvolvimento deste trabalho, buscando sempre, com sua humildade acadêmica, transmitir seus conhecimentos e experiência profissional.

A Karina Ferreira Castro Mesquita, por ceder informações primordiais ao desenvolvimento desta pesquisa.

A Engenheira do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém, Odicleia Trindade Neves, pelo apoio na obtenção de informações do abastecimento de água e esgotamento sanitário da Ilha do Mosqueiro.

Ao Engenheiro José Maria de Matos Junior pela ajuda na obtenção de informações sobre coleta de resíduos sólidos urbanos na ilha do Mosqueiro.

Ao Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS) e ao Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) pela estrutura fornecida e pelos momentos de aprendizado.

A todos aqueles, que em algum momento de minha vida contribuíram diretamente ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

*“Não importa o que faça, cada pessoa na Terra está sempre representando o papel principal da História do Mundo....”*

*O Alquimista*

## SUMÁRIO

### RESUMO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE GRÁFICOS

### LISTA DE MAPAS

### LISTA DE SIGLAS

### LISTA DE TABELAS

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	GERAL.....	16
2.2	ESPECÍFICOS.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	CILO HIDROLÓGICO.....	17
3.2	ÁGUA POTÁVEL E LEGISLAÇÃO.....	18
3.2.1	Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.....	18
3.3	ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	18
3.3.1	Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS).....	19
3.3.2	Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS).....	20
3.3.3	Índice Relativo de Qualidade da Água (IRQ).....	20
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
4.1.1	Características Socioeconômicas.....	23
4.1.2	Clima.....	23
4.1.3	Relevo.....	24
4.1.4	Vegetação.....	24
4.1.5	Hidrogeologia.....	24
4.2	DESCRIÇÃO DA PESQUISA.....	26
4.2.1	Levantamento de informações do SAA, SES e CRSU.....	27

4.2.2	Campanhas de amostragem na ilha do Mosqueiro .....	27
4.2.3	Determinação dos Índices de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS, IQNAS e IRQ) .....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
5.1	ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	35
5.1.1	Abastecimento individual .....	35
5.1.2	Abastecimento Público .....	39
5.1.3	Sistema de esgotamento sanitário.....	59
5.2	COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (CRSU) .....	68
5.3	ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	70
5.4	IQNAS.....	71
5.5	IQAS.....	73
5.6	IRQ.....	75
6	CONCLUSÃO .....	78
7	REFERÊNCIAS .....	79



## RESUMO

A pesquisa buscou avaliar a qualidade da água subterrânea utilizada para o abastecimento público da ilha do Mosqueiro, município de Belém – PA. Para tanto, foram aplicados três Índices de Qualidade da Água, no caso, Índice de Qualidade Natural de Águas Subterrâneas (IQNAS), Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS) e Índice Relativo de Qualidade (IRQ). Além disso, foi realizado o levantamento das condições dos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos urbanos na ilha, a fim de determinar, juntamente com os resultados dos índices, se estes sistemas tem atendido a população da ilha de modo a evitar a escavação artesanal de poços (poços tubulares rasos e poços do tipo amazonas) e a destinação imprópria dos esgotos domésticos e resíduos sólidos por parte dos moradores locais. Nos resultados da aplicação do IQNAS e IQAS, foi observada variação da qualidade da água ao longo dos bairros da ilha, mostrando-se inferior nos bairros mais urbanizados. Na aplicação do IRQ a água foi classificada com excelente qualidade em todos os bairros estudados, reforçando a característica de índice pouco restritivo. Dos três sistemas de saneamento estudados na ilha, somente a coleta de resíduos sólidos urbanos tem se mostrado satisfatória, não oferecendo riscos significativos à qualidade da água subterrânea e à população da ilha do Mosqueiro.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo Hidrológico. ....	17
Figura 2 – Divisão politico-administrativa do município de Belém.....	22
Figura 3 – Trabalho de campo na ilha do Mosqueiro. ....	28
Figura 4 – Fluxograma geral da pesquisa. ....	31
Figura 5 – Perfil litológico de um poço raso escavado no bairro Caruara. ....	36
Figura 6 – Captação de água de poço tipo amazonas. ....	38
Figura 7 – Poço tubular profundo escavado em 2008 no bairro da Mangueira. ....	39
Figura 8 – Unidade Murubira.....	44
Figura 9 – Unidades do SAA Murubria.....	45
Figura 10 – Perfil litológico de um dos poços do SAA Murubira.....	46
Figura 11 – Entrada do SAA 5ª Rua.....	47
Figura 12 – Área de atendimento do SAA 5ª Rua. ....	48
Figura 13 – Perfil litológico do poço 4 do SAA 5ª Rua.....	49
Figura 14 – Perfil litológico do poço 2 do SAA 5ª Rua.....	50
Figura 15 – Unidades operacionais do SAA 5ª Rua. ....	51
Figura 16 - Localização do Setor IX abastecido pelo SAA Baia do Sol.....	52
Figura 17 – Reservatório elevado do SAA Baia do Sol. ....	54
Figura 18 – SAA Carananduba. ....	55
Figura 19 – Perfil litológico do poço do SAA Carananduba.....	56
Figura 20 - Reservatórios elevados do SAA Praia do Bispo. ....	58
Figura 21 – Entrada do sistema EEEB-B1 do SAAEB. ....	62
Figura 22 – Lagoa de estabilização (a) e EEE (b) na unidade EEEB-B1. ....	62
Figura 23 – Terreno de localização da EEE-B1A. ....	63
Figura 24 – Poço de sucção (a) e estação elevatória (b) da Unidade EEE – B2. ....	64
Figura 25 - Lagoa de estabilização (a) e estação elevatória de esgoto (b) da Unidade EEE – B4 Aeroporto. ....	64
Figura 26 – Estação elevatória da unidade EEE-B5. ....	65
Figura 27 - Estação elevatória da Unidade EEE – B6.....	66
Figura 28 – Rua da Pedreira, bairro do Aeroporto. ....	67
Figura 29 – Praça da vila. ....	68
Figura 30 – Bairro Caruara.....	69
Figura 31 – Bairro do Paraíso. ....	70
Figura 32 – IQNAS das águas subterrâneas dos bairros estudados.....	73
Figura 33 – IQAS das águas subterrâneas dos bairros.....	74
Figura 34 - IRQ das águas subterrâneas dos bairros estudados. ....	76

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação dos valores IQNAS nos bairros da ilha do Mosqueiro. ....	71
Gráfico 2 – Variação dos valores IQAS nos bairros da ilha do Mosqueiro. ....	74
Gráfico 3 – Variação dos valores IRQ nos bairros da ilha do Mosqueiro. ....	76

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Área de estudo da pesquisa.....	23
Mapa 2–Área de estudo da pesquisa.....	27
Mapa 3 - Pontos de Coleta de 1 a 9 na Ilha do Mosqueiro/PA.....	29
Mapa 4 - Pontos de Coleta de 10 a 15 na Ilha do Mosqueiro/PA.....	29
Mapa 5 - Pontos de Coleta de 16 a 24.....	30
Mapa 6 - Áreas atendidas por concessionárias na RMB.....	40
Mapa 7 – Zonas de abastecimento da RMB. ....	41
Mapa 8 – Sistemas Isolados na RMB. ....	42
Mapa 9 – Poços tubulares operados pela COSANPA e SAAEB na RMB.....	43
Mapa 10 – Bacia 17 e sub-bacias de esgotamento.....	60
Mapa 11– Bacia 18 e sub-bacias de esgotamento.....	60

## LISTA DE SIGLAS

AMAE	Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém
CETESB	Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental - SP
CMB	Conjunto motor e bomba
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRSU	Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
DAMOS	Distrito Administrativo do Mosqueiro
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
EEEB	Estação Elevatória de Esgoto Bruto
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQA	Índice de Qualidade da Água
IQAS	Índice de Qualidade da Água Subterrânea
IQNAS	Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea
IRQ	Índice Relativo de Qualidade da Água
MS	Ministério da Saúde
PDSES	Plano Diretor de Sistema de Esgotamento Sanitário
RMB	Região Metropolitana de Belém
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAEEB	Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
WHO	<i>World Health Organization</i>

## LISTA DE TABELA

Tabela 1– Concentrações elementos químicos, permitidas pelo ministério da saúde. .....	18
Tabela 2 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea da ilha do Mosqueiro. ...	31
Tabela 3 – Equações matemáticas para a obtenção do INQAS. ....	33
Tabela 4 – Redistribuição dos pesos dos parâmetros do IQNAS.....	34
Tabela 5 – Diâmetros e extensão da rede que abastece o Setor VIII do SAAEB. ....	51
Tabela 6 – Diâmetros e extensão da rede que abastece o IX Setor do SAAEB. ....	53
Tabela 7 – Diâmetros e extensão da rede da unidade Carananduba. ....	55
Tabela 8 - Diâmetros e extensão da rede do SAA Praia do Bispo. ....	59
Tabela 9 – Valores dos IQAs obtidos nas águas subterrâneas da ilha do Mosqueiro. .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

A intensificação da poluição dos mananciais superficiais nos últimos anos vem tornando a água subterrânea uma opção alternativa para muitos países, não sendo mais restrita a países desprovidos de águas superficiais.

Grandes exemplos dessa utilização podem ser vistos na República das Honduras, Mediterrâneo e países asiáticos. Na República das Honduras, pelo menos 30% do abastecimento vêm de poços, chegando a 100% em determinadas zonas (VARGAS; VARGAS; BADILHA *et al.* 2012). No mediterrâneo, a água subterrânea é utilizada em larga escala, principalmente na irrigação (LATINOPOULOS; THEODOSSINOU; LATINOPOULOS, 2011). Na Índia, China, Bangladesh, Tailândia, Indonésia e Vietnã, mais de 50 % do abastecimento de água potável é fornecido a partir de águas subterrâneas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006).

Proporcionalmente à utilização, as pesquisas sobre água subterrânea aumentaram significativamente e mostraram que sua característica pode ser modificada por uma série de fatores, nos quais se incluem os antrópicos, a hidrogeologia e hidrogeoquímica do aquífero.

A dinâmica e complexidade dos fatores que influenciam na qualidade da água subterrânea e também superficial remetem ao estudo de elementos que sintetizem de modo eficiente os laudos de caracterização da água potável. O uso dos Índices de Qualidade da Água (IQAs) como instrumentos complementares na avaliação da qualidade tem se mostrado satisfatório, pois facilitam a comunicação entre os profissionais e a compreensão da população interessada no assunto.

Desde o surgimento do primeiro IQA, desenvolvido em 1965 pelo alemão R. Horton, foi observado que na seleção dos parâmetros para o cálculo do índice, devem ser consideradas a origem e o tipo de uso para o qual a água será destinada, não se mostrando apropriado o uso de um único índice para águas de diversas finalidades. Por conta desses usos diversos, novos índices surgiram, como o IQA<sub>NFS</sub> (*National Sanitation Foundation*), de 1970, que no Brasil, foi modificado pela

CETESB. Nessa década, os mesmos pesquisadores propuseram o Índice de Toxidez (IT), em complemento ao  $IQA_{NFS}$  (SANTOS 2009).

Para águas subterrâneas, também surgiram índices, como o Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta (IQASB) e o Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS<sub>CH</sub>), desenvolvido para aplicação em aquíferos de uso agrícola (SANTOS 2009). Alguns índices, por exemplo, como o Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS), Índice Relativo de Qualidade da Água (IRQ) e Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS), têm sido citados e utilizados nos estudos de Coutinho et al. (2013), Almeida e Oliveira (2010) e Santos (2009). O IQAS, proposto por Melloul e Collin (1998) relaciona qualidade da água com vulnerabilidade dos aquíferos, quando associado ao método DRASTIC, tendo apresentado resultados satisfatórios em sua aplicação, enquanto que o e IRQ, proposto por Fernandes e Loureiro (2006) tem sido questionado e caracterizado como pouco restritivo (COUTINHO *et al.* 2013). Ambos os índices relacionam as concentrações máximas permitidas por resoluções, portarias e normas com as obtidas em campo, enquanto que o IQNAS adota o critério de distribuição de pesos e utiliza um intervalo de validade para cada parâmetro, a fim de selecionar a formulação matemática mais apropriada para a obtenção do IQA final (OLIVEIRA; NEGRÃO; SILVA, 2007). O IQNAS, apesar de levar em conta a qualidade natural da água subterrânea, não considera os elementos químicos potencialmente tóxicos já citados, que podem estar presentes naturalmente em função da hidrogeoquímica do aquífero.

Mesmo com as limitações do IQA, seu uso como ferramenta complementar em águas subterrâneas tem se mostrado de grande valia, especialmente nas regiões desprovidas de saneamento, em que pouca importância se tem dado à perfuração dos poços.

Nas comunidades rurais da Amazônia onde se inclui, também, as comunidades de várzea, nota-se que são raríssimos os poços executados dentro dos critérios técnicos adequados, com coletas e ensaios de materiais, onde seja feita a caracterização fiel da sondagem realizada. A falta desses elementos traz como consequência o desconhecimento dos aspectos construtivos do poço e da litologia do local, podendo comprometer a qualidade da água (AZEVEDO, 2006).



Na ilha do Mosqueiro, Região Metropolitana de Belém, estado do Pará, onde o abastecimento público é feito por água subterrânea, as soluções individuais, intensamente utilizadas em áreas não abastecidas, na maior parte dos casos, são executadas de maneira inadequada pelos próprios moradores. Os poços são perfurados ou escavados sem os critérios técnicos adequados e geralmente captam água dos aquíferos freáticos.

A vulnerabilidade desses aquíferos, associada às deficiências na manutenção adequada nos sistema de abastecimento público e especialmente, na coleta do esgoto, e que eventualmente é depositado em fossas ou buracos escavados próximos aos poços nas residências, põe em risco a saúde dos moradores da ilha do Mosqueiro, que consomem a água sem qualquer tipo de tratamento. Com isso esta pesquisa objetiva inferir sobre a vulnerabilidade dos aquíferos utilizados no abastecimento público da ilha do mosqueiro por meio da aplicação do IQAS, avaliar a qualidade da água subterrânea consumida pelos moradores, por meio do IQNAS, e avaliar a eficácia de aplicação do IRQ, uma vez que este índice tem sido questionado em estudos semelhantes.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Aplicar índices de qualidade da água subterrânea na ilha do Mosqueiro, a fim de verificar possíveis vulnerabilidades dos aquíferos utilizados pela comunidade.

### 2.2 ESPECÍFICOS

Realizar levantamento de informações sobre os sistemas de abastecimento água (SAA) a fim verificar se as condições físicas e operacionais dos sistemas podem estar interferindo na qualidade da água de abastecimento da ilha.

Realizar levantamento de informações sobre os sistemas de esgotamento sanitário (SES) e coleta de resíduos sólidos urbanos (CRSU) a fim de verificar se estes sistemas têm ajudado a evitar o uso de soluções improvisadas para a destinação final de efluentes e resíduos domésticos por moradores locais.

Aplicar o Índice de Qualidade de Águas Subterrâneas (IQAS) e o Índice de Qualidade Natural de Águas Subterrâneas (IQNAS), para obter informações da qualidade da água utilizada pela comunidade local.

Calcular o Índice Relativo de Qualidade (IRQ) da água subterrânea, a fim de verificar a eficácia da aplicabilidade desse índice na região.

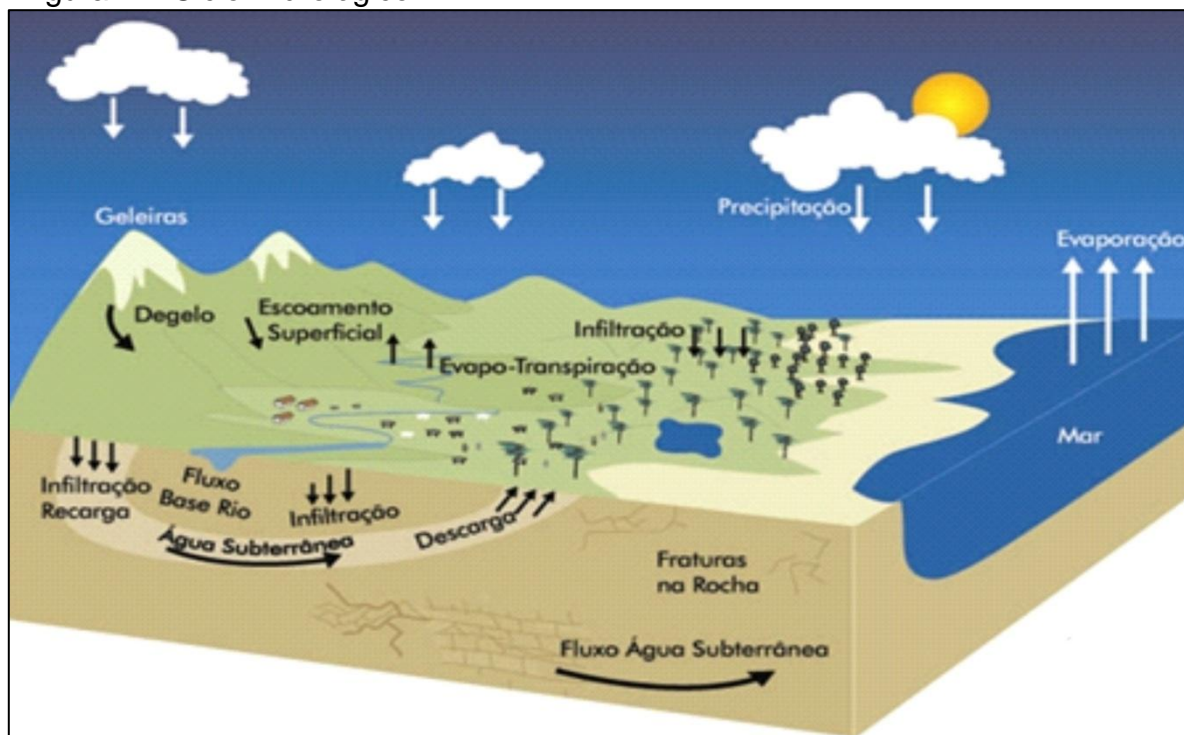
### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CILO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado basicamente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

Pode-se descrever o ciclo hidrológico como tendo início na evaporação das águas oceânicas. Esse vapor gerado é movido pelas massas de ar e condensado, formando nuvens que resultam em precipitação. A precipitação, por sua vez, é dispersa sobre a terra de várias formas, sendo que a maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e finalmente retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água restante escoam sobre a superfície do solo (infiltração) ou através do solo para os rios (escoamento sub-superficial), enquanto que a outra parte penetra profundamente no solo, indo suprir o lençol d'água subterrâneo (BALBINOT *et al.* 2008). Na Figura 1 pode ser observado o ciclo hidrológico.

Figura 1 – Ciclo Hidrológico.



Fonte: Brasil (2015).

### 3.2 ÁGUA POTÁVEL E LEGISLAÇÃO

A legislação é fundamental para a gestão e qualidade da água de um país, especialmente naqueles onde há grande deficiência no saneamento básico, constantes casos de poluição e/ou contaminação dos mananciais e utilização inadequada dos recursos hídricos. No Brasil a qualidade da água é adequada conforme a portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde de 2011.

#### 3.2.1 Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde

Devido à importância do controle e atualização dos parâmetros de qualidade da água para consumo humano, o Ministério da Saúde revogou a portaria nº 518 de 25 de março de 2004 e instituiu a portaria 2.914 de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

Tabela 1– Concentrações elementos químicos, permitidas pelo ministério da saúde.

Parâmetro	Unidade	Ministério da Saúde
Cloretos	mg.L <sup>-1</sup>	250
Sólidos Totais Dissolvidos	mg.L <sup>-1</sup>	1000
Dureza	mg.L <sup>-1</sup>	500
Nitrato	mg.L <sup>-1</sup>	10
PH	mg.L <sup>-1</sup>	-
Fluoreto	mg.L <sup>-1</sup>	1,5

Fonte: Brasil (2011).

### 3.3 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

São ferramentas matemáticas utilizadas na sintetização de vários parâmetros em uma única grandeza, que represente o nível de qualidade da água para um determinado uso.

Os resultados satisfatórios nas aplicações dos IQAs culminaram na consolidação desses índices, havendo como consequência, o crescimento no desenvolvimento dessa ferramenta para diversas finalidades, que vão desde água potável (superficial ou subterrânea), até água para os usos estritamente biológicos, como estuários por exemplo. (SANTOS, 2009).

No Brasil, houve o surgimento de diversos índices para águas subterrâneas, dos quais se pode citar o Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta (IQASB) e o Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS<sub>CH</sub>), desenvolvido para aplicação em aquíferos de uso agrícola (SANTOS 2009). Há também o Índice Relativo de Qualidade da Água (IRQ) e Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS), que têm sido citados e utilizados nos estudos de Coutinho et al. (2013), Almeida e Oliveira (2010) e Santos (2009).

Fora do Brasil, muitos outros índices para águas subterrâneas foram desenvolvidos, como o índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS), proposto Melloul e Collin (1998) para caso da região de Sharon em Israel. Há também o GWQI (*groundwater quality index*) desenvolvido por Stigter, Ribeiro e Carvalho Dill, (2006) para monitorar a potabilidade da água que sofre influências de substâncias químicas da agricultura nas regiões da Campina de Faro e Campina da Luz, ao sul de Portugal.

De modo geral, a aplicação de um índice específico ou mais está estritamente relacionada a finalidade de uso da água. Desse modo, no presente trabalho, serão descritos os índices que se adequam aos objetivos da pesquisa, no caso o IQNAS, IQAS e IRQ.

### **3.3.1 Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS)**

O IQNAS foi concebido pelos critérios normalmente adotados para a construção de índices de qualidade, ou seja: (1) o número de variáveis incorporadas ao índice é limitado, a fim de garantir a praticidade; (2) as variáveis utilizadas são parâmetros químicos mais significativos para se avaliar a qualidade natural das

águas subterrâneas em estudo; (3) as variáveis escolhidas estão dentro da disponibilidade de dados (mais frequentemente utilizado). O procedimento utilizado na elaboração do índice compreendeu as seguintes etapas: a escolha do modelo matemático; a escolha dos parâmetros químicos; a construção da curva da nota de qualidade versus concentração ou magnitude do parâmetro; e determinação dos pesos (OLIVEIRA NEGRÃO; SILVA, 2007).

A formulação matemática selecionada para o IQNAS foi utilizada para o IQA da CETESB, ou seja, um produto dos valores de qualidade da água subterrânea para cada parâmetro químico escolhido ( $Q_i$ ), elevado ao peso atribuído a cada variável ( $w_i$ ) (OLIVEIRA NEGRÃO; SILVA, 2007)

### **3.3.2 Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS)**

O IQAS é uma formulação matemática desenvolvida para a avaliação empírica da qualidade da água subterrânea regional, utilizando simultaneamente dados de uma série de parâmetros químicos de caracterização de salinidade e poluição. Com isso, pode-se inferir sobre possíveis contaminações e/ou intrusão salina no aquífero (MELLOUL e COLLIN, 1998). O IQAS pode ter seus resultados complementados pelo método DRASTIC, quando disponíveis informações sobre as características hidrogeológicas, morfológicas e físicas do aquífero, podendo determinar sua vulnerabilidade.

A aplicação do IQAS se deu originalmente com a utilização do Cloreto e Nitrato, onde os pesos desses parâmetros estavam previamente definidos, no entanto, quanto maior o número de parâmetros utilizados, mais representativo será o mapeamento do estado da qualidade das águas subterrâneas.

### **3.3.3 Índice Relativo de Qualidade da Água (IRQ)**

O IRQ caracteriza e hierarquiza o potencial de qualidade de água subterrânea. Nesse índice, mesmo sendo utilizados geralmente os parâmetros sólidos totais dissolvidos, nitrato e cloreto, que estão associados à interferência antrópica de acordo com Fernandes e Loureiro (2006) podem ser usados outros

parâmetros, desde que sejam conhecidos seus respectivos valores padrões fixados por portarias ou recomendados por norma.

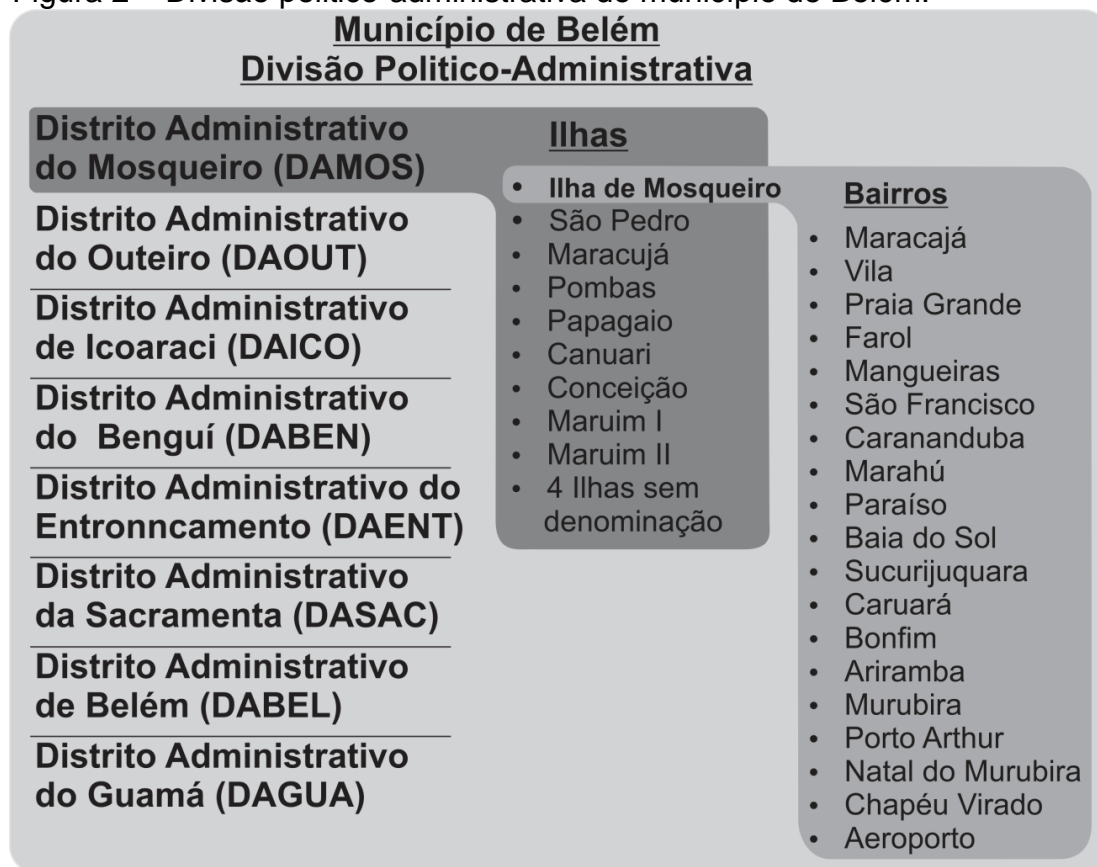
A metodologia de avaliação da água pelo IRQ esta voltada, preferencialmente, para diagnosticar as possíveis variações de qualidade provocadas, no sistema hidrogeológico, por interferências antrópicas. Neste sentido, os parâmetros originalmente utilizados são o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD). Tais parâmetros foram escolhidos porque, comumente, respondem com variações significativas no meio hidrogeológico, principalmente se este for relacionado a um ambiente sendo excelentes indicadores de possíveis fontes de poluição/contaminação das águas subterrâneas (FERNANDES; LOUREIRO, 2006).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em Mosqueiro, que é a maior dentre as ilhas que integram o Distrito Administrativo do Mosqueiro (DAMOS) pertencente ao município de Belém. A divisão politico-administrativa que engloba a ilha do Mosqueiro pode ser observada na Figura 1.

Figura 2 – Divisão politico-administrativa do município de Belém.

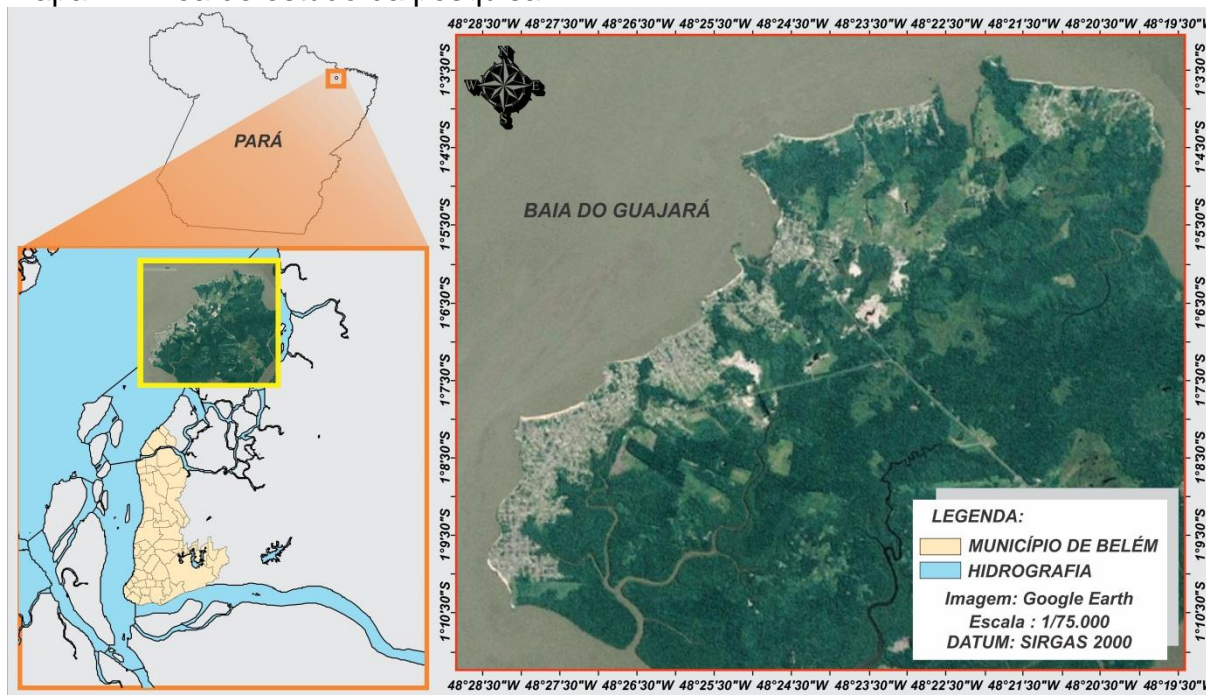


Fonte: Belém (2012).

A ilha do Mosqueiro se caracteriza por ser fluvial, da costa oriental do rio Pará, no braço sul do rio Amazonas, localizada em frente à baía do Marajó. Sua área é de aproximadamente 212 km<sup>2</sup>, com localização a 70 km do centro da capital Belém. Possui 17 km de praias de água doce com movimento de maré (BELÉM, 2013). Sua localização pode ser observada no Mapa 1.



Mapa 1 - Área de estudo da pesquisa.



#### 4.1.1 Características Socioeconômicas

A ilha do Mosqueiro apresenta-se como ponto turístico do município de Belém, recebendo visitantes de outros municípios paraenses, principalmente os municípios próximos, que integram a Região Metropolitana de Belém (RMB).

O fluxo mais intenso de pessoas na ilha se dá no verão amazônico, mais especificamente no mês de julho, período das férias escolares.

A ilha também apresenta áreas voltadas à moradia da população local, à produção agropecuária e à preservação (FERREIRA, 2010). Com número de habitantes residentes nas áreas urbana e rural de 31.394 e 1.838 respectivamente, totaliza população de 33.232 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010) em seus 19 bairros, e equivale a 2 % da população total residente no município de Belém.

#### 4.1.2 Clima

O clima na ilha do Mosqueiro é tropical, super-úmido e quente com média de 26°C ao ano (PARÁ, 2005 *apud* VASCONCELOS; SOUZA, 2011). A precipitação

pluviométrica média anual é de 2.800 mm, com período chuvoso de dezembro a junho e um período de estiagem de julho a novembro. A umidade relativa do ar média é de 90% no período chuvoso e 80% no período de estiagem (MASCARENHAS *et al.* 2009).

#### 4.1.3 Relevo

Na ilha o relevo é plano com cotas máximas de 38 m e mínimas de 2 m correspondendo a pequenas ondulações no relevo e nas planícies. Estudos feitos nas praias identificam o solo como: hidromórficos apresentam um horizonte B latossólico em perfil profundo onde o teor de argila cresce geralmente em profundidade (SANTOS, 2004).

#### 4.1.4 Vegetação

Para Costa e Pietrobon (2007), a cobertura vegetal natural da ilha do Mosqueiro é constituída predominantemente por floresta ombrófila densa. A vegetação compõe-se, mais especificamente de:

- floresta de terra firme densa;
- floresta de terra firme aberta, floresta de várzea;
- floresta de igapó;
- manguezal.

Destaca-se, ainda, a presença de floresta secundária ou 'capoeira' que, segundo Venturieri *et al.* (1998) *apud* Costa e Pietrobon (2007), em 1995 já ocupava aproximadamente 24% da área total da ilha.

#### 4.1.5 Hidrogeologia

Segundo Matta (2002) a Região Metropolitana de Belém (RMB) na qual está incluída a ilha do Mosqueiro, é formada por aquíferos aluviões, Pós-Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior.

### a) Aluviões

São aquíferos livres formados pela deposição de sedimentos fluviais e materiais erodidos, predominantemente arenosos e conglomeráticos, e se constituem, normalmente, em bons aquíferos (ANDRADE, 2010). Ocorrem no intervalo de 0 a 10 m de profundidade e apresentam vazões médias de 10 m<sup>3</sup>/h sua recarga se dá por precipitação pluviométrica e a descarga por meio dos rios, fontes, evapotranspiração e poços (PALHETA, 2008).

### b) Barreiras

É um aquífero livre a semi-confinado com espessura variável, sendo constituído predominantemente por camadas arenosas com intercalações de sedimentos argilosos. Em poços perfurados no aquífero Barreiras de produtividade moderada, foram observadas profundidades variando de 12 a 100 metros, com vazão média de 23 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica, também média, em torno de 4 m<sup>3</sup>/h/m. Os poços de aquíferos Barreiras com baixa produtividade apresentaram profundidades variando de 25 a 78 metros, com vazão média de 5 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica inferior a 1m<sup>3</sup>/h/m podendo, localmente, ocorrer vazões abaixo ou acima dos limites estabelecidos para a classe. Suas águas geralmente apresenta boa qualidade química, mas com teor de Fe total frequentemente elevado (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2007).

### c) Pós-Barreiras

São aquíferos livres ou localmente semiconfinados formados por materiais arenosos, intercalados com sedimentos argiloarenosos. Este conjunto apresenta espessura total de aproximadamente 30 m e vazões de 1 a 3m<sup>3</sup>/h. Em alguns casos são recobertos por alúvios e colúvios. Podem apresentar teores excessivos de ferro e são recarregados basicamente por precipitações pluviométricas e suas descargas ocorrem por meio dos rios, fontes, evapotranspiração e poços (PALHETA, 2008).

#### d) Pirabas Superior

São aquíferos de natureza confinados com sucessivas camadas de arenitos calcíferos/calcários que se alternam com siltitos e argilitos. Geralmente ocorrem geralmente a partir de 80m de profundidade, e prolongam-se até 180 m. As vazões podem variar de 100 a 200 m<sup>3</sup>/h. São separados do Aquífero Pirabas inferior por argilitos e siltitos esverdeados (PALHETA, 2008).

#### e) Pirabas Inferior

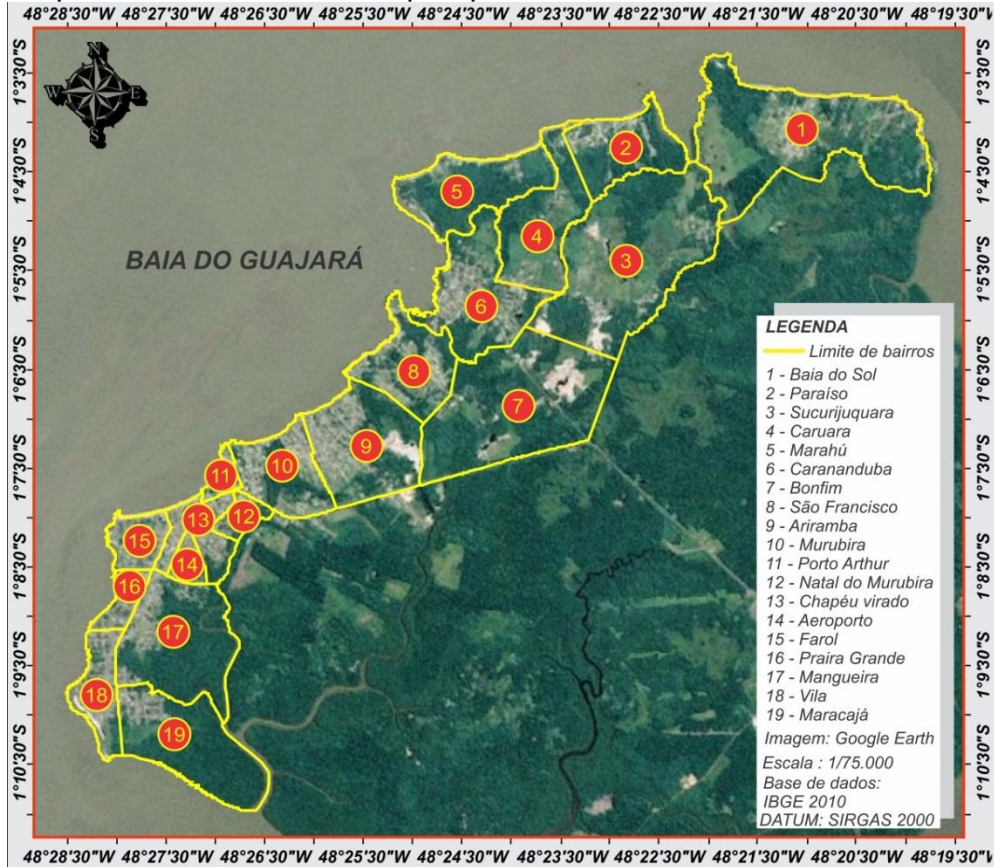
De acordo com Palheta (2008), são aquíferos confinados compostos por repetidas camadas de arenitos de coloração cinza-esbranquiçada com granulação fina e conglomerática.

Geralmente ocorrem a partir dos 180 m de profundidade. Estes arenitos estão intercalados com níveis de argilitos e siltitos esverdeados, de espessuras maiores. Possuem as melhores vazões da região.

## 4.2 DESCRIÇÃO DA PESQUISA

Para se inferir sobre a qualidade da água consumida pela população da ilha do Mosqueiro, foram levantadas as condições de saneamento e analisados parâmetros de qualidade da água subterrânea de abastecimento público nos bairros de Caruara, Chapéu Virado, Farol, Marahú, Murubira, Paraíso, Porto Arthur, Praia Grande e Vila, da ilha do Mosqueiro. No Mapa 2 pode ser observada a divisão dos bairros da ilha.

Mapa 2—Área de estudo da pesquisa.



#### 4.2.1 Levantamento de informações do SAA, SES e CRSU

Na pesquisa foi realizado um levantamento das condições dos SAA, SES e CRSU por meio de visitas e consultas (documentais e entrevistas com técnicos do setor) nas concessionárias responsáveis pelos respectivos sistemas. O objetivo do levantamento de informações foi verificar se as atuais condições dos sistemas permitem que estes desempenhem sua função com eficácia, abastecendo toda a população da ilha com água dentro dos padrões de potabilidade e efetue coleta dos esgotos e resíduos sólidos da população, evitando que estes busquem soluções alternativas que possam vir a contaminar os aquíferos da ilha.

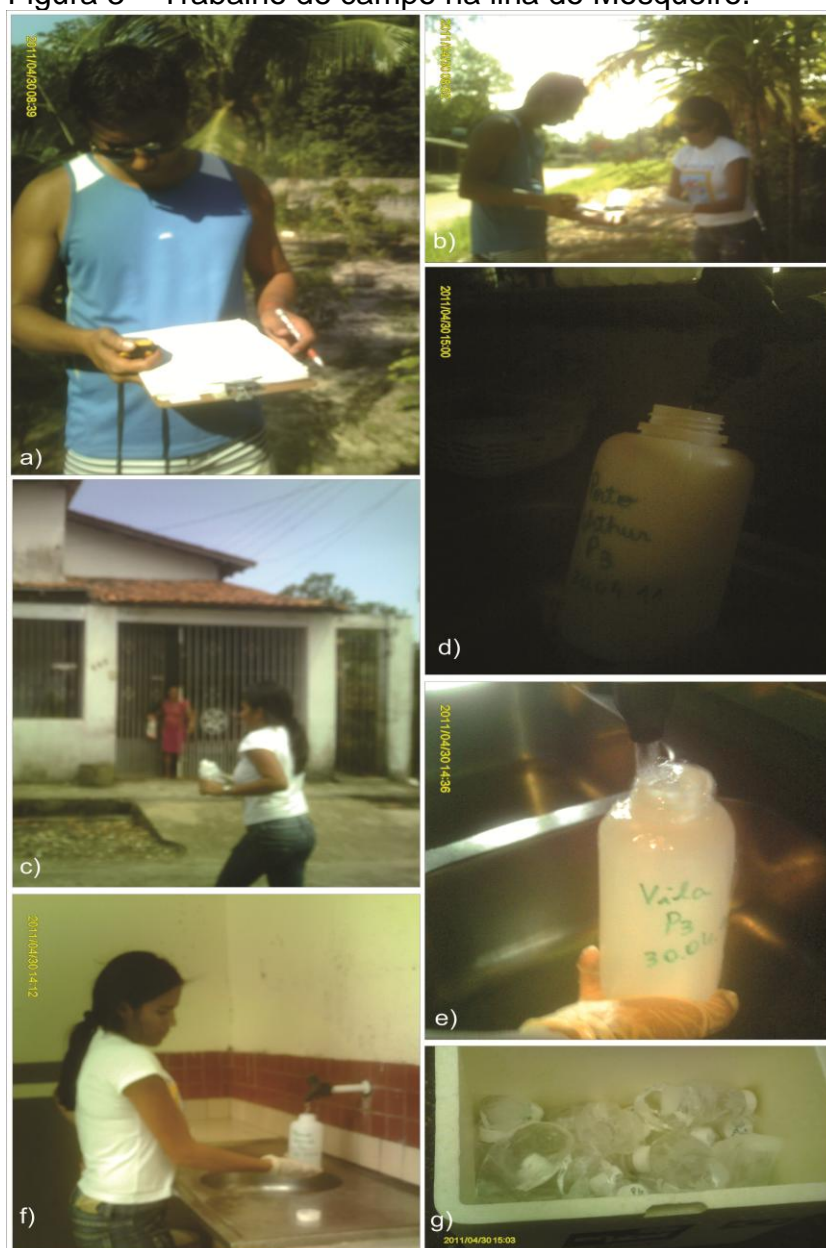
#### 4.2.2 Campanhas de amostragem na ilha do Mosqueiro

Os pontos de amostragem (3 pontos de coleta para cada bairro selecionado) foram definidos após visita de reconhecimento na área de estudo em agosto de 2010. As coletas foram realizadas em dois períodos sazonais, chuvoso e menos chuvoso. A coleta no período menos chuvoso foi realizada em outubro de



2010, e no menos chuvoso, foi realizada em março de 2011. A seleção dos pontos ocorreu de acordo com a intensidade de ocupação populacional da ilha, cobertura com sistema de abastecimento de água e colaboração dos moradores locais. Devido esses fatores, a distribuição dos pontos selecionados se deu ao longo dos bairros mais populosos (onde se localizam as praias), no sentido crescente de urbanização da ilha e de maneira não uniforme. Na Figura 3 pode ser observado o registro fotográfico do trabalho de campo realizado na ilha do Mosqueiro

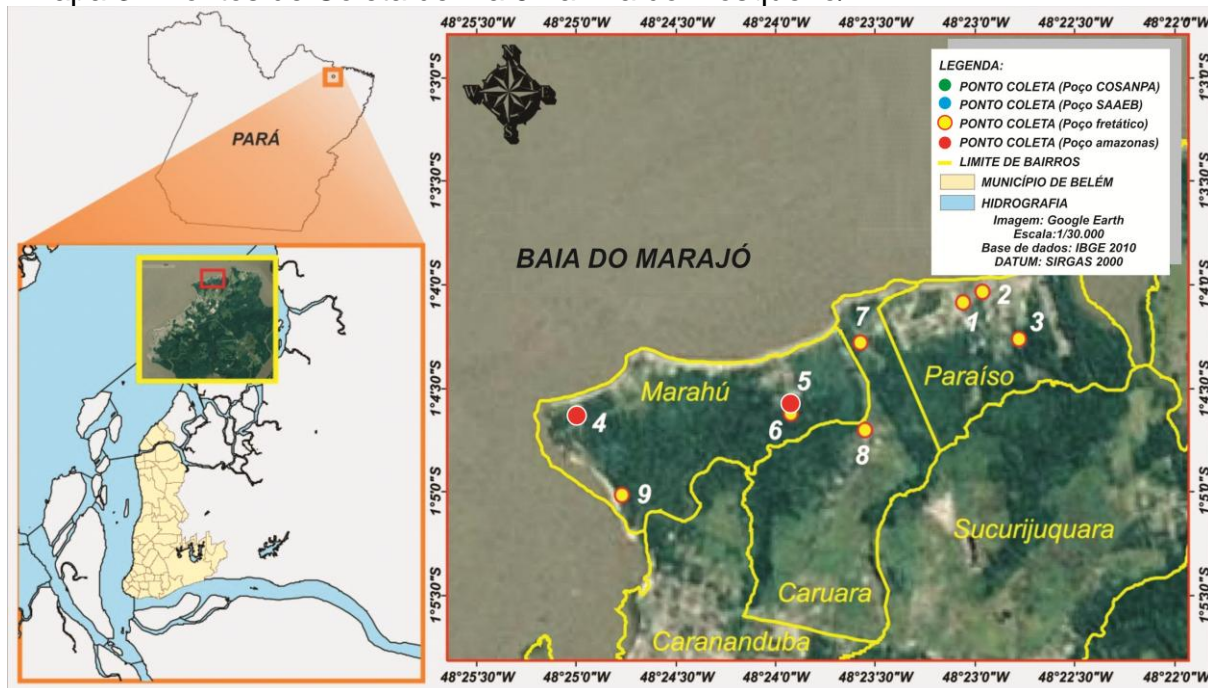
Figura 3 – Trabalho de campo na ilha do Mosqueiro.



a) Registro das coordenadas dos pontos de amostragem no GPS, b) Preparação para a coleta, c) e d) Coleta em residência no bairro Porto Arthur, e) e f) Coleta em residência no bairro Vila, g) Acondicionamento e preservação das amostras em caixa isotérmica.

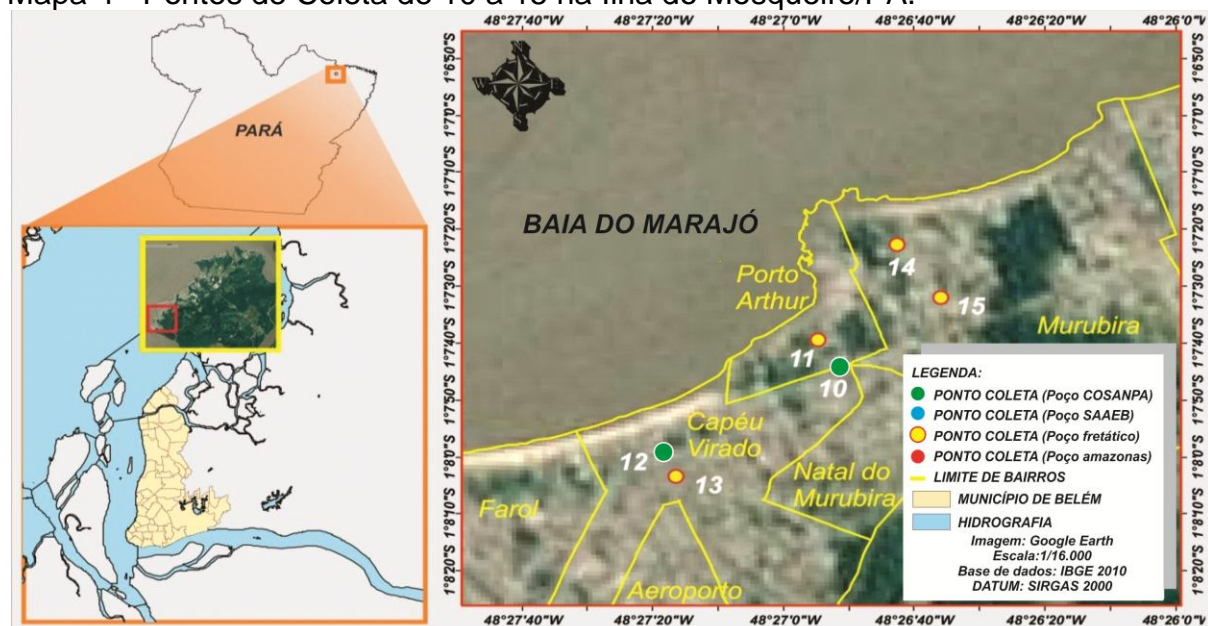
No Mapa 3, podem ser observadas as localizações dos primeiros pontos de coleta, de 1 a 9, e foram obtidos nos bairros do Paraíso, Caruara, e Marahú, os menos populosos da ilha do Mosqueiro.

Mapa 3 - Pontos de Coleta de 1 a 9 na Ilha do Mosqueiro/PA.



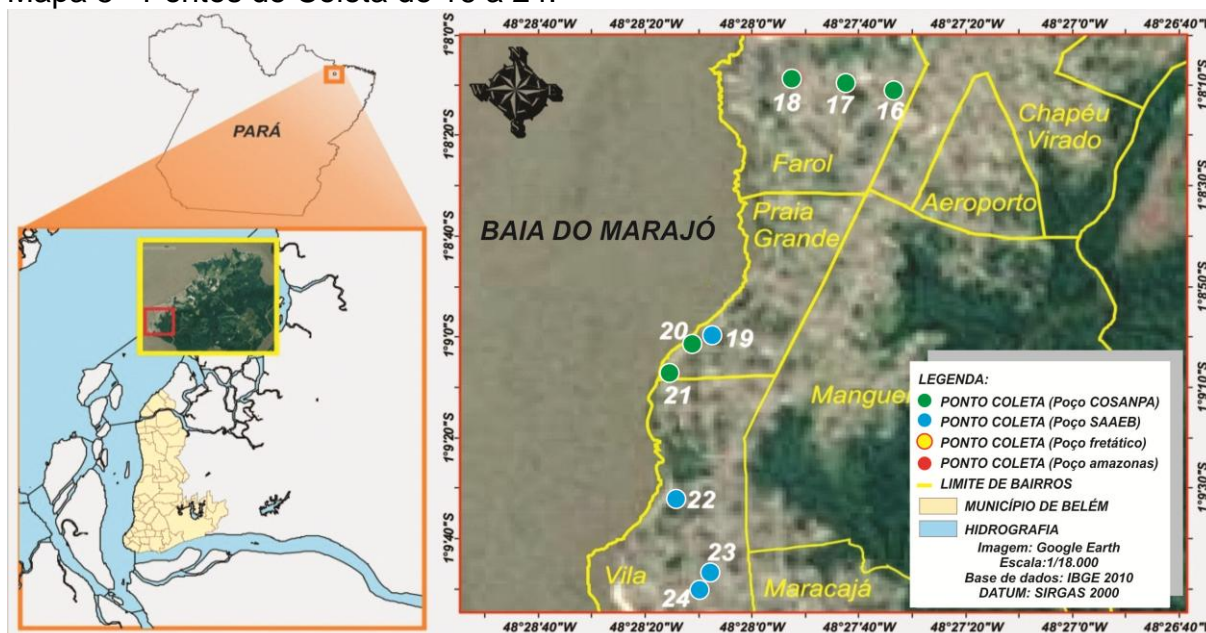
As coletas dos pontos de 10 a 15 foram realizadas nos bairros do Murubira, Porto Arthur, Chapéu e Virado, como pode ser observado no Mapa 4.

Mapa 4 - Pontos de Coleta de 10 a 15 na Ilha do Mosqueiro/PA.



No Mapa 5 são observados os pontos de 16 a 24, que foram obtidos nos bairros do Farol, Praia Grande e Vila.

Mapa 5 - Pontos de Coleta de 16 a 24.

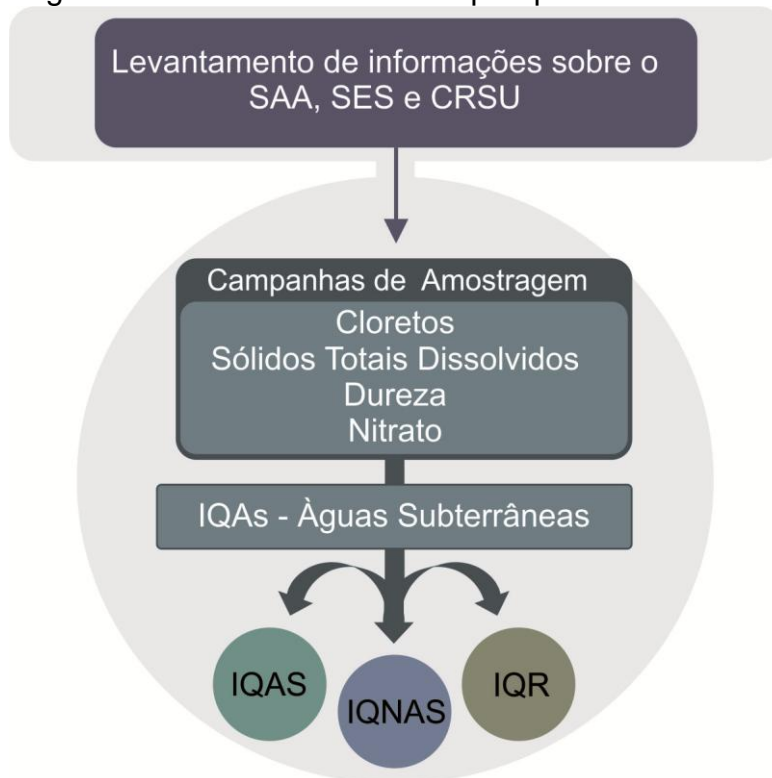


As coletas de água foram realizadas em dois períodos sazonais distintos (seco – outubro / 2010, chuvoso – março / 2011). As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno de 1 litro e armazenadas em caixa isotérmica com gelo, para a conservação até o momento da análise, que foi realizada pelo Laboratório Canadense *Acme Analytical Laboratories* (Vancouver) especializado em preparação mineral e testes laboratoriais por espectrometria de massa para mineração, exploração e pesquisa de minerais.

Na Figura 4 pode ser observado o resumo do desenvolvimento da pesquisa.



Figura 4 – Desenvolvimento da pesquisa.



#### 4.2.3 Determinação dos Índices de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS, IQNAS e IQR)

Os cálculos dos IQAs foram realizados a partir dos parâmetros observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea da ilha do Mosqueiro.

Parâmetros	Nº	Período menos			Período chuvoso			MS <sup>2</sup>
		chuvoso			Mín.	Máx.	Mediana	
		Mín.	Máx.	Mediana				
Cloreto (mg.L <sup>-1</sup> )	24	35	110	60	45	120	65	250
STD <sup>1</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	24	13	203	87,5	3	204	75	1000
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	24	8	276	136	12	224	132	500
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	24	0	0,7	0,01	0	1,75	0,02	10

Fonte: Mesquita (2012)

1 - Sólidos Totais Dissolvidos

2 - Ministério da Saúde (Portaria N<sup>o</sup> 2.914).

#### 4.2.3.1 Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS)

Para o cálculo do IQAS foi utilizada a Equação 1, proposta por Melloul e Collin (1998).

$$IQAS = (C/n) \times \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{W_i \times Y_i}{W_{max} \times Y_{max}} \right) \right] \quad \text{Equação 1}$$

Onde: C é uma constante, que nesse estudo será igual a 10, n é o número de parâmetros químicos utilizados no cálculo,  $W_i$  é o peso de cada parâmetro que varia com sua importância na pesquisa;  $W_{max}$  é o peso máximo fornecido e  $Y_{max}$ , igual a 10, é o máximo atribuído ao parâmetro que é 3,5 vezes maior ou igual ao seu valor padrão de qualidade (AMORIM *et al.* 2011). Pela Equação 2 pode ser obtido o valor de  $y_i$ .

$$y_i = -0,712 \times (P_{ij}/P_{id})^2 + 5,228 \times (P_{ij}/P_{id}) + 0,484 \quad \text{Equação 2}$$

#### 4.2.3.2 Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS)

A formulação matemática utilizada para obtenção do IQNAS foi utilizada para o IQA da CETESB, ou seja, um produto dos valores de qualidade da água subterrânea para cada parâmetro químico escolhido ( $Q_i$ ), elevado ao peso atribuído a cada variável ( $w_i$ ) (OLIVEIRA; NEGRÃO; SILVA, 2007), como pode ser observado na Equação 3.

$$INQAS = \text{produto}(Q_i^{w_i}) = Q_1^{w_1} \times Q_2^{w_2} \times Q_3^{w_3} \times \dots \times Q_n^{w_n} \quad \text{Equação 3}$$

As equações matemáticas utilizadas nos parâmetros para a aplicação na Equação 3 podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Equações matemáticas para a obtenção do INQAS.

Parâmetros e Unidades	Equações Matemáticas	Intervalos de Validade
pH	$Q_{pH} = 1,7354 \times (pH)^2$	$[2 \leq pH \leq 7,34]$
(-)	$Q_{pH} = 16405 \times [(pH)^{-2,5}] - 17$	$[pH \geq 7,35]$
Cloreto (Cl, mg.L <sup>-1</sup> )	$Q_{Cl} = 100$	$[Cl < 4,86]$
	$Q_{Cl} = 138,9 \times (Cl)^{-0,19561} - (Cl)^{0,42}$	$[4,86 \leq Cl \leq 3000]$
	$Q_{Cl} = 0,0$	$[Cl > 3000]$
Sólidos Totais	$Q_{ST} = 79 - 0,16728 \times ST + EXP[(ST)^{0,228}]$	$[0 \leq ST \leq 1630]$
(ST, mg. L <sup>-1</sup> )	$Q_{ST} = 27,7$	$[ST > 1630]$
Dureza (DUR, mg.L <sup>-1</sup> )	$Q_{DUR} = 100$	$[DUR < 5,4]$
	$Q_{DUR} = 101,1 \times EXP(-0,00212 \times DUR)$	$[DUR \geq 5,4]$
Fluoreto	$Q_F = 80 + 21 \times F - (F)^{11,6263}$	$[0 \leq F \leq 1,5]$
(F, mg.L <sup>-1</sup> )	$Q_F = 0,0$	$[F > 1,5]$
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ,mg.L <sup>-1</sup> )	$Q_N = 100 \times EXP(-0,0994 \times N)$	$[N \geq 0,0]$

Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

Para a aplicação do IQNAS nesta pesquisa, houve a necessidade de redistribuição dos pesos pela falta de dados das variáveis pH e fluoreto, que não foram analisadas. Essa redistribuição foi baseada em Coutinho *et. al.* (2013) que aplicaram esse índice sem as informações de fluoreto e de sólidos totais, e descreveram que no trabalho de Oliveira, Negrão e Silva (2007) não há informações sobre os critérios utilizados para determinação do intervalo de classes de qualidade. Para não modificar os pesos das demais variáveis (cloreto, dureza e nitrato) foi remanejado o peso do pH para sólidos totais, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Redistribuição dos pesos dos parâmetros do IQNAS.

<b>Parâmetros (Qn)</b>	<b>Pesos originais</b>	<b>Pesos redistribuídos (Wn)</b>
pH	0,05	-
Cloreto (mg.L <sup>-1</sup> )	0,26	0,419
Sólidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	0,22	0,081
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	0,16	0,258
Fluoreto (mg.L <sup>-1</sup> )	0,16	-
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> de N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,15	0,242
<b>Soma dos pesos</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

A aplicação da redistribuição de peso como recurso alternativo para a obtenção do IQNAS nos casos em que não se dispõe de todos os parâmetros tem sido utilizado de modo satisfatório, como pode ser observado nos estudos realizados por Coutinho *et al.* (2013).

#### 4.2.3.3 Índice Relativo de Qualidade da Água (IRQ)

O cálculo do IRQ se dá pela média aritmética dos IRQ<sub>médio</sub> de cada parâmetro, que é descrito pela Equação 4.

$$\text{IRQ}_{\text{médio}} = V_i / \text{VMP}_i \quad \text{Equação 4}$$

A Equação 5 é utilizada para a obtenção do IRQ final.

$$\text{IRQ} = \text{IRQ}_{\text{médio}} / n \quad \text{Equação 5}$$

Onde:  $V_i$  é o valor médio resultante das análises do parâmetro  $i$ ;  $\text{VMP}_i$  é o valor máximo permitido pela portaria ou norma que se está usando para o parâmetro  $i$ ; e  $n$  é o número de parâmetros utilizados no cálculo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No levantamento de informações realizado, foi observado que o isolamento geográfico do Distrito Administrativo do Mosqueiro em relação ao município de Belém tem dificultado o avanço da cobertura da população local com sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário. A seguir, informações das atuais condições desses sistemas na ilha do Mosqueiro.

### 5.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA

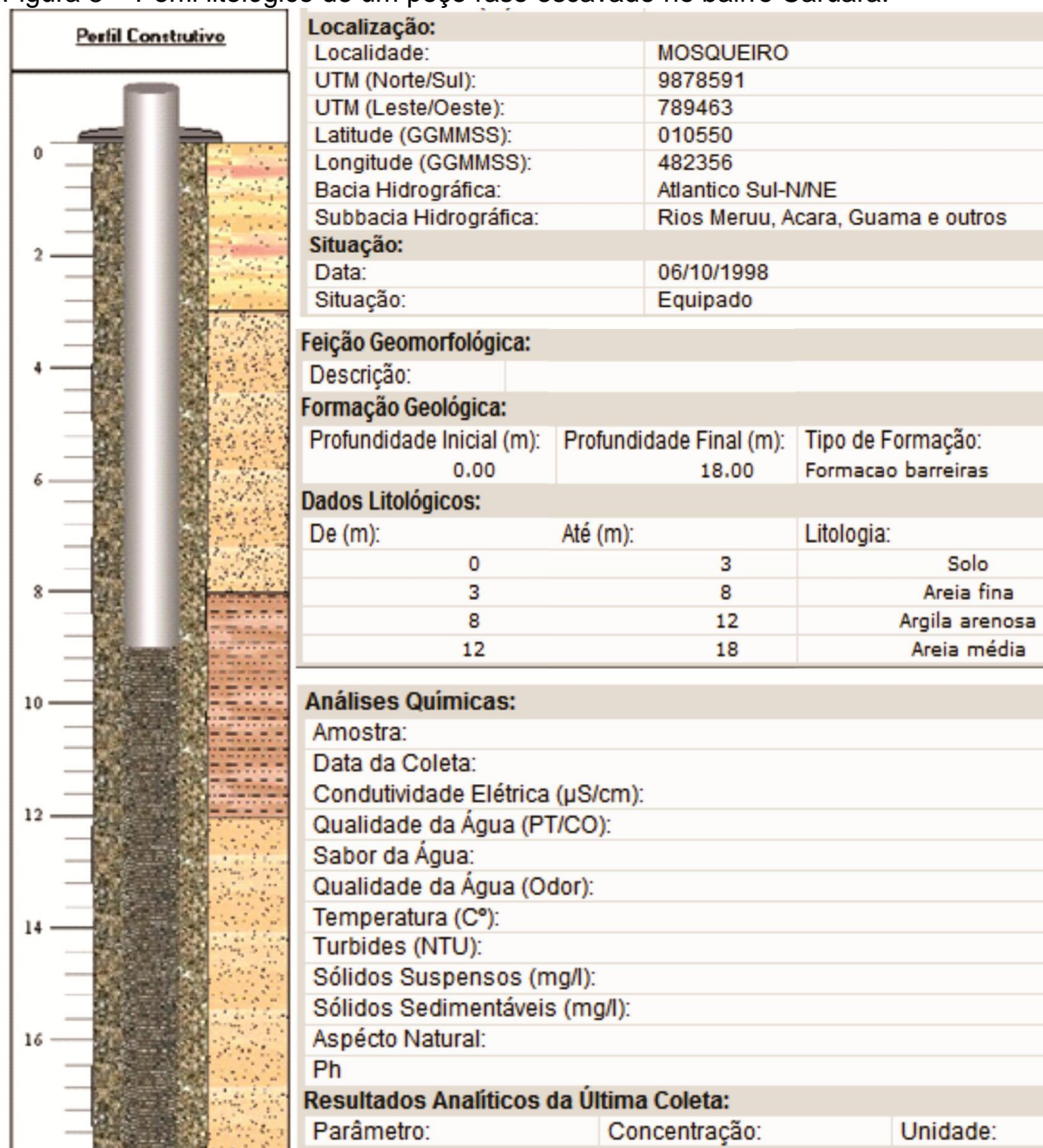
Realizado por manancial subterrâneo, essa água é consumida por um conjunto de usuários no qual se incluem o sistema público de abastecimento, escolas, indústrias e o comércio em geral.

#### 5.1.1 Abastecimento individual

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015), no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), na ilha estão atualmente cadastrados 393 poços, sendo que a maior parte é constituída por poços tubulares rasos, de propriedade particular. Desses poços, quase sua totalidade foram perfurados antes do ano 2000. Alguns poços rasos registrados foram perfurados da década de 70, inclusive de propriedade das concessionárias de abastecimento público atuantes na ilha. Esses poços estão na situação de equipados ou abandonados.

Na Figura 5 pode ser observado o perfil litológico de um poço raso particular escavado no bairro Caruara e registrado em 1998.

Figura 5 – Perfil litológico de um poço raso escavado no bairro Caruara.



Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015).

As profundidades desses poços geralmente variam de 10 a 25 metros, captando água, na maioria das vezes de aquíferos livres (Aluviões), recarregados por rios, lagos, precipitações pluviométricas e poços de bombeamento próximos à água superficial (DEMÉTRIO *et al.* 2013). Esses aquíferos, por serem livres e sofrerem influência de diversos fatores, sendo conseqüentemente vulneráveis as contaminações, não são, em primeiro plano, recomendados para o abastecimento doméstico. Um exemplo desse fator é observado na pesquisa elaborada por Rocha

*et al.* (2011), em que foi detectada a presença de coliformes termo tolerantes em poços rasos nos bairros do cajueiro, município de Santa Viçosa, Bahia. Os fatores que mais influenciaram para contaminação da água foram a falta do distanciamento mínimo, entre o córrego e os poços, a não vedação da tampa dos poços e sua pequena profundidade.

Em sua maioria, os poços tubulares rasos, são perfurados manualmente e com raras exceções, são construídos sem critérios técnicos e de higiene. Esse fator resulta na falta de dados técnicos, o que impede a determinação de parâmetros hidráulicos do poço e as características físico-químicas da água.

Outro tipo de obra de captação de água muito observada nas áreas desprovidas de abastecimento público na ilha do Mosqueiro, especialmente nos bairros da Baía do Sol, Paraíso, Sucurijuquara, Caruara e Marahú é o poço tipo amazonas, construído por meio de escavação realizada sem critérios e pelos próprios moradores das comunidades. Esses poços obviamente não estão registrados e são extremamente vulneráveis a contaminação. Sua profundidade pode variar de 2 a 10 metros, com diâmetro de aproximadamente 1,50 metros. De acordo com Matta (2002), valores entre 2,5 e 7,8 metros foram medidos nos outros distritos administrativos de Belém. A captação de água nesses poços muitas vezes é realizada de forma rudimentar, com a utilização de recipientes (baldes) presos a cordas.

Na Figura 6 pode ser observada a captação de água de poço tipo amazonas por moradores na ilha do Mosqueiro.

Figura 6 – Captação de água de poço tipo amazonas.



Fonte: Penaforte (2013).

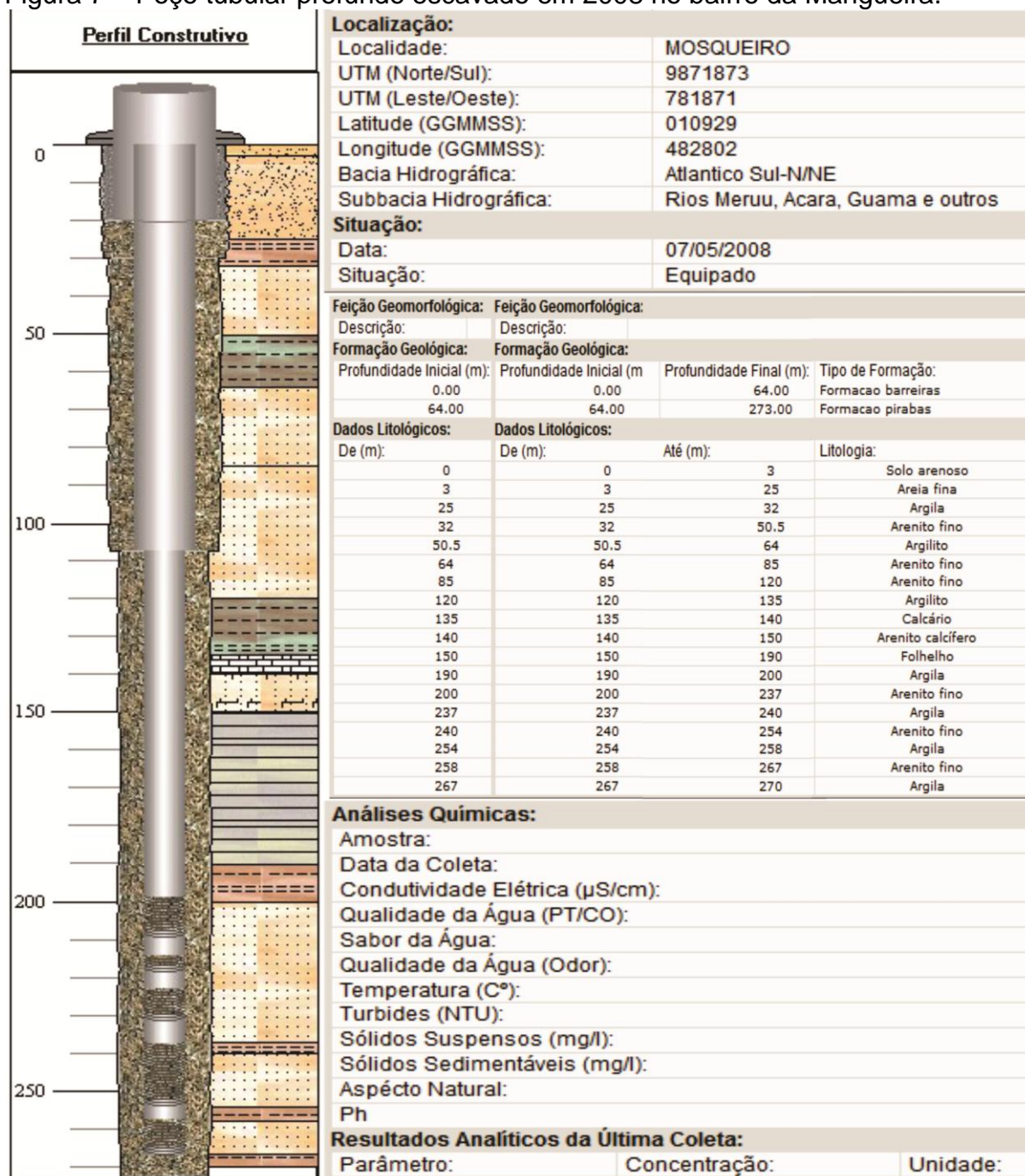
Os poços perfurados na ilha do Mosqueiro, depois do ano 2000 e registrados pelo SIAGAS foram poucos, e em sua maioria, profundos e de propriedade das concessionárias de abastecimento público de água, indústrias e comércios em geral.

Os poços com finalidade para o abastecimento público e industrial, geralmente obedecem a critérios estabelecidos por normas técnicas, já que o poder aquisitivo lhes permite a escavação de poços tubulares profundos por serviço especializado, constituindo obras de engenharia hidro geológica. Essas obras, no caso da ilha do Mosqueiro, podem alcançar as formações Barreiras e Pirabas, que são aquíferos confinados de melhor qualidade da água e maior capacidade hidráulica.

Na Figura 7 pode ser observado o poço tubular profundo de propriedade da empresa Terraplena, escavado no bairro da Mangueira.



Figura 7 – Poço tubular profundo escavado em 2008 no bairro da Mangueira.



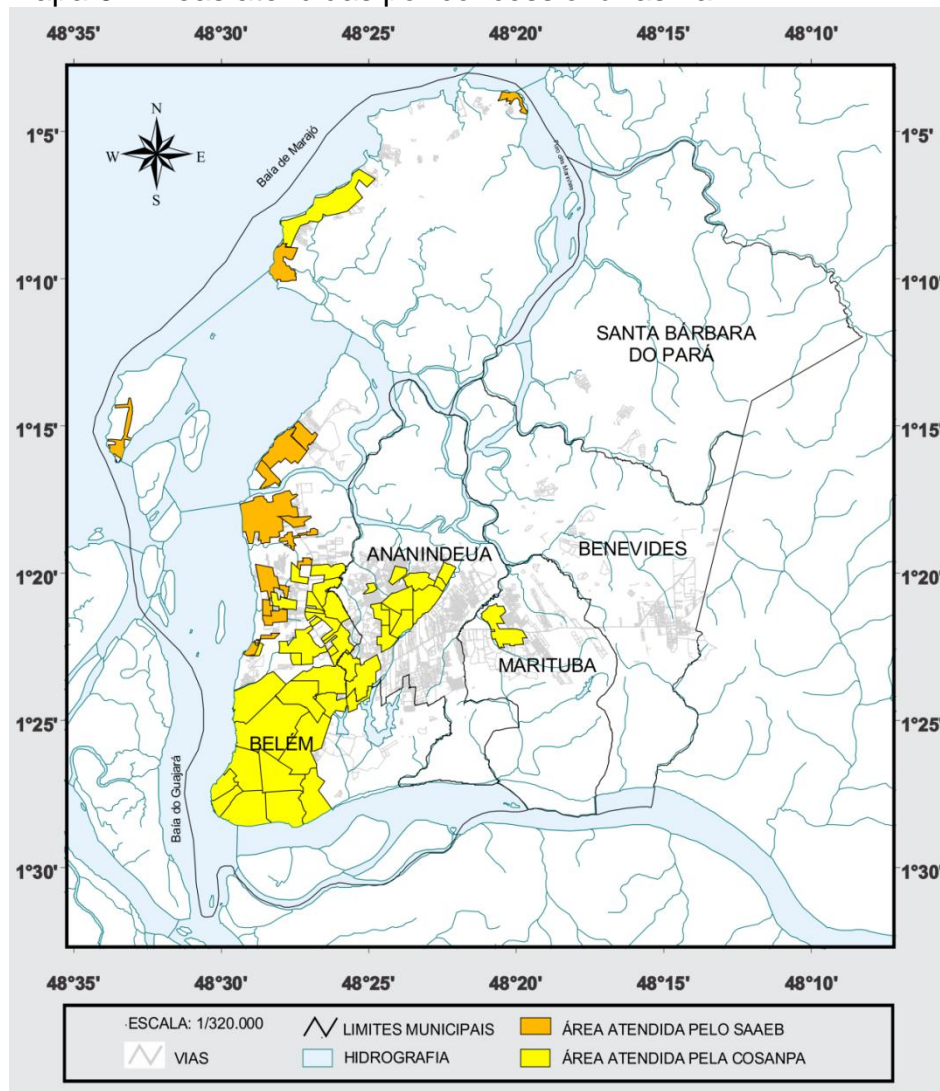
Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015).

### 5.1.2 Abastecimento Público

Atualmente, o abastecimento de água na ilha do Mosqueiro é realizado por dois órgãos: Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), responsável pelo gerenciamento e operação dos sistemas de abastecimento de água que atendem a maior parte do da RMB e outros municípios do estado; e o Serviço Autônomo de

Água e Esgoto de Belém (SAEEB). No Mapa 6 podem ser observadas as áreas atendidas pela COSANPA e SAEEB na RMB.

Mapa 6 - Áreas atendidas por concessionárias na RMB.

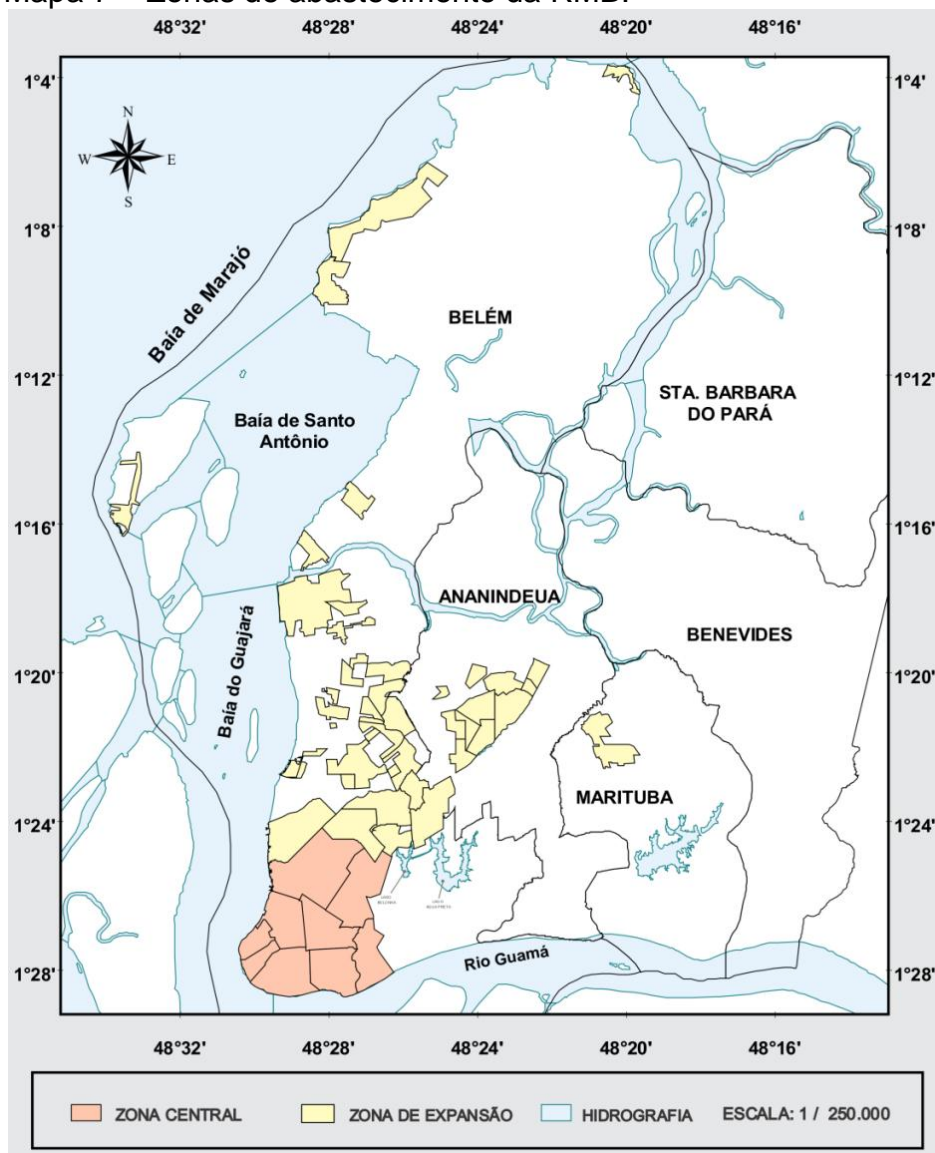


Apesar da existência do SAEEB, de acordo com Belém (2014a), em audiência pública, ocorrida no dia 21 de novembro de 2014, às 11:30 horas, o diretor presidente da Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém (AMAE) expos contrato de programa a ser firmado entre a Prefeitura Municipal de Belém (PMB) e a COSANPA, cujo objeto é a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no município de Belém. No contrato, está prevista transferência dos sistemas gerenciados pelo SAEEB para a COSANPA.

## a) Zonas de Abastecimento

De acordo com Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014) a RMB é dividida em duas zonas de abastecimento de água: a Zona Central e a Zona de Expansão, como pode ser observado no Mapa 7.

Mapa 7 – Zonas de abastecimento da RMB.



Fonte: Belém (2014b).

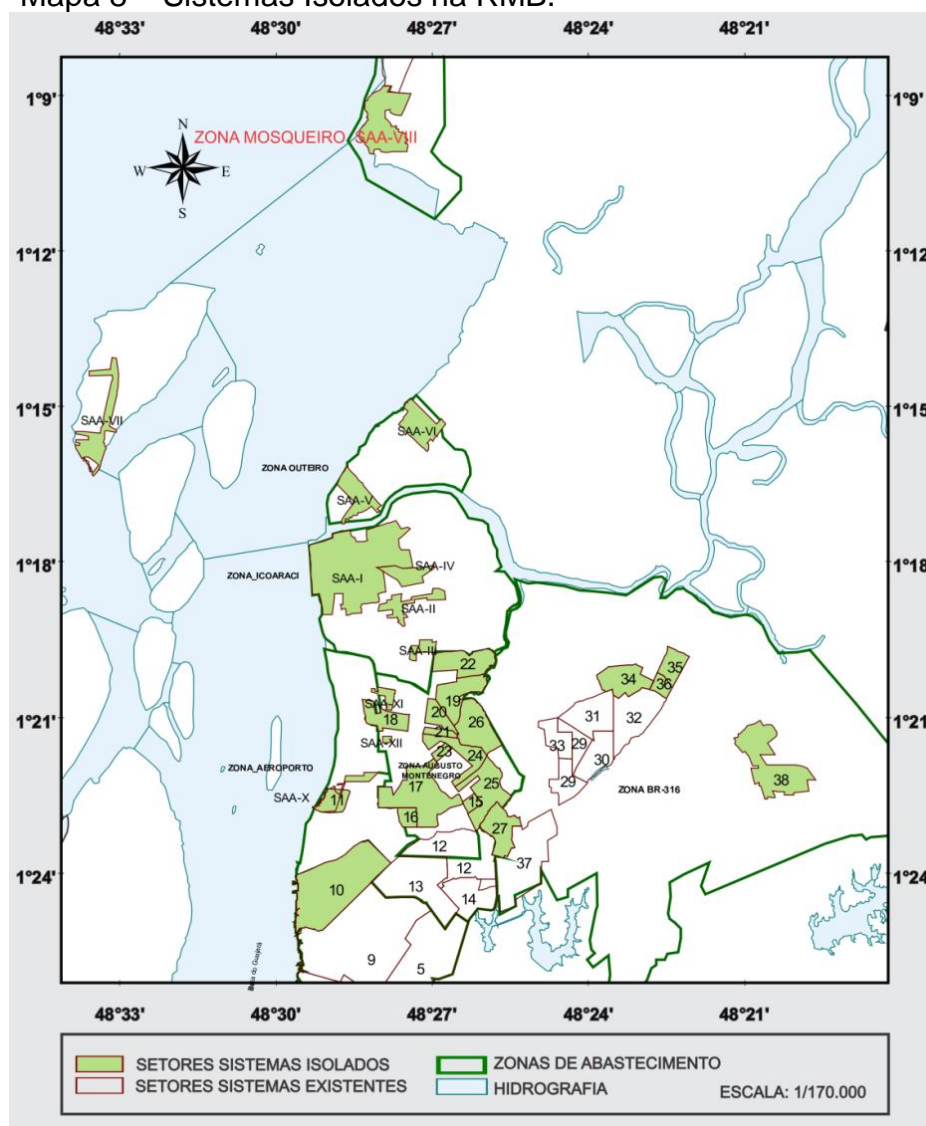
Somando as duas Grandes zonas, existem 39 setores de abastecimento na RMB, sendo 9 localizados na Zona Central e 30 localizados na a Zona de Expansão (BELÉM, 2014b).



Ainda na Zona de Expansão, existem mais 12 setores isolados operados pelo SAAEB. A Ilha de Mosqueiro está localizada nessa zona, que também é abastecida pela COSANPA. Os sistemas isolados são aqueles abastecidos por águas subterrâneas exploradas por meio de poços tubulares.

No Mapa 8 são apresentados os sistemas isolados na Região Metropolitana de Belém, onde se localiza a ilha do Mosqueiro.

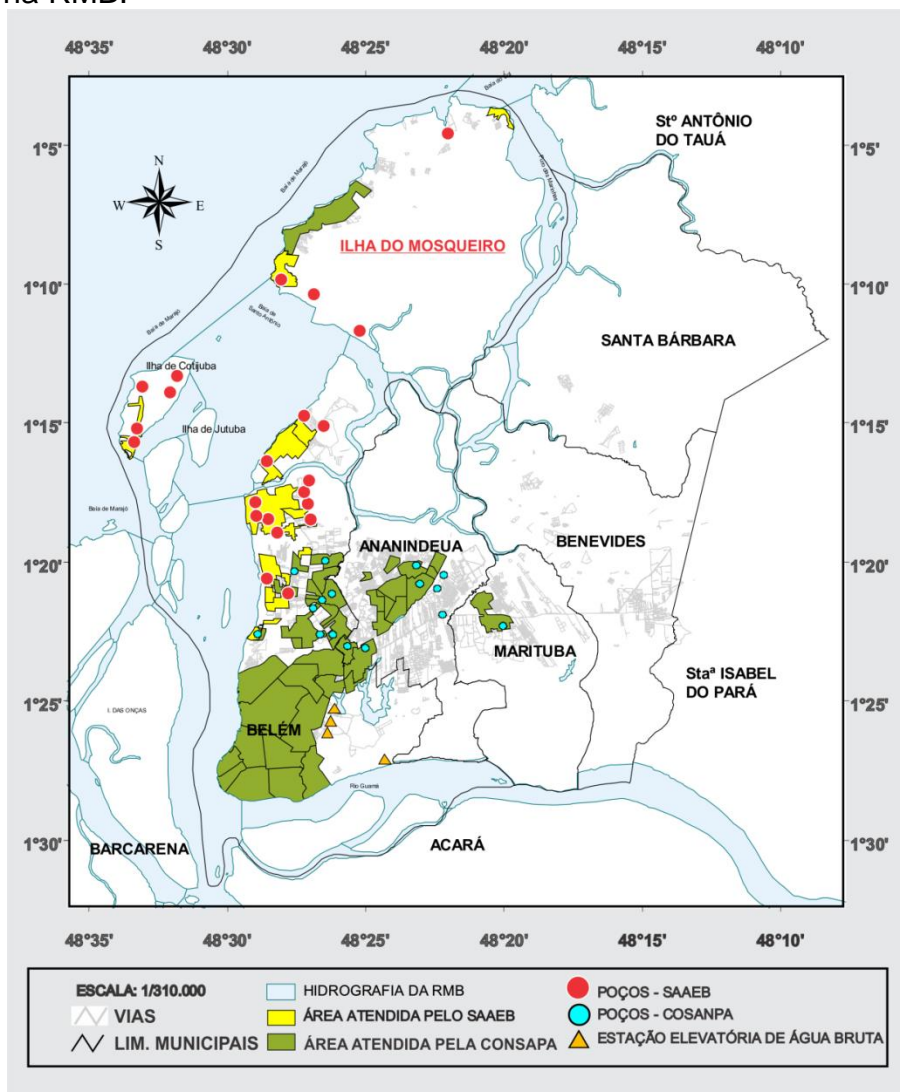
Mapa 8 – Sistemas Isolados na RMB.



Fonte: Belém (2014b).

A localização dos poços tubulares dos sistemas isolados operados pela COSANPA e SAAEB na RMB podem ser observados no Mapa 9.

Mapa 9 – Poços tubulares operados pela COSANPA e SAAEB na RMB.



Fonte: Companhia de Saneamento do Pará (2006).

Os sistemas de abastecimento existentes na ilha do Mosqueiro operados pela COSANPA e SAAEB são descritos a seguir:

#### 5.1.2.1 SAA Murubira (COSANPA)

Localizado em área de aproximadamente 10.300 m<sup>2</sup> no bairro do Murubira, distante a um quarteirão da Rua Variante. Na Figura 8, pode ser observada a entrada do SAA Murubira.

Figura 8 – Unidade Murubira.



O SAA da unidade Murubria é constituído por 4 unidade de captação de água bruta (4 poços com elevatória de água, sendo dois poços bombeado para ETA simplificada e 2 poços para o reservatório apoiado), ETA simplificada (aeração), reservação (reservatório apoiado), desinfecção simples com aplicação de cloro em pastilhas e rede de distribuição com 65.394,25 metros de comprimento. A vazão total do sistema é de 555 m<sup>3</sup>/h.

Na Figura 9, podem ser observadas as unidades do SAA operado pela COSANPA na ilha do Mosqueiro.



Figura 9 – Unidades do SAA Murubria.

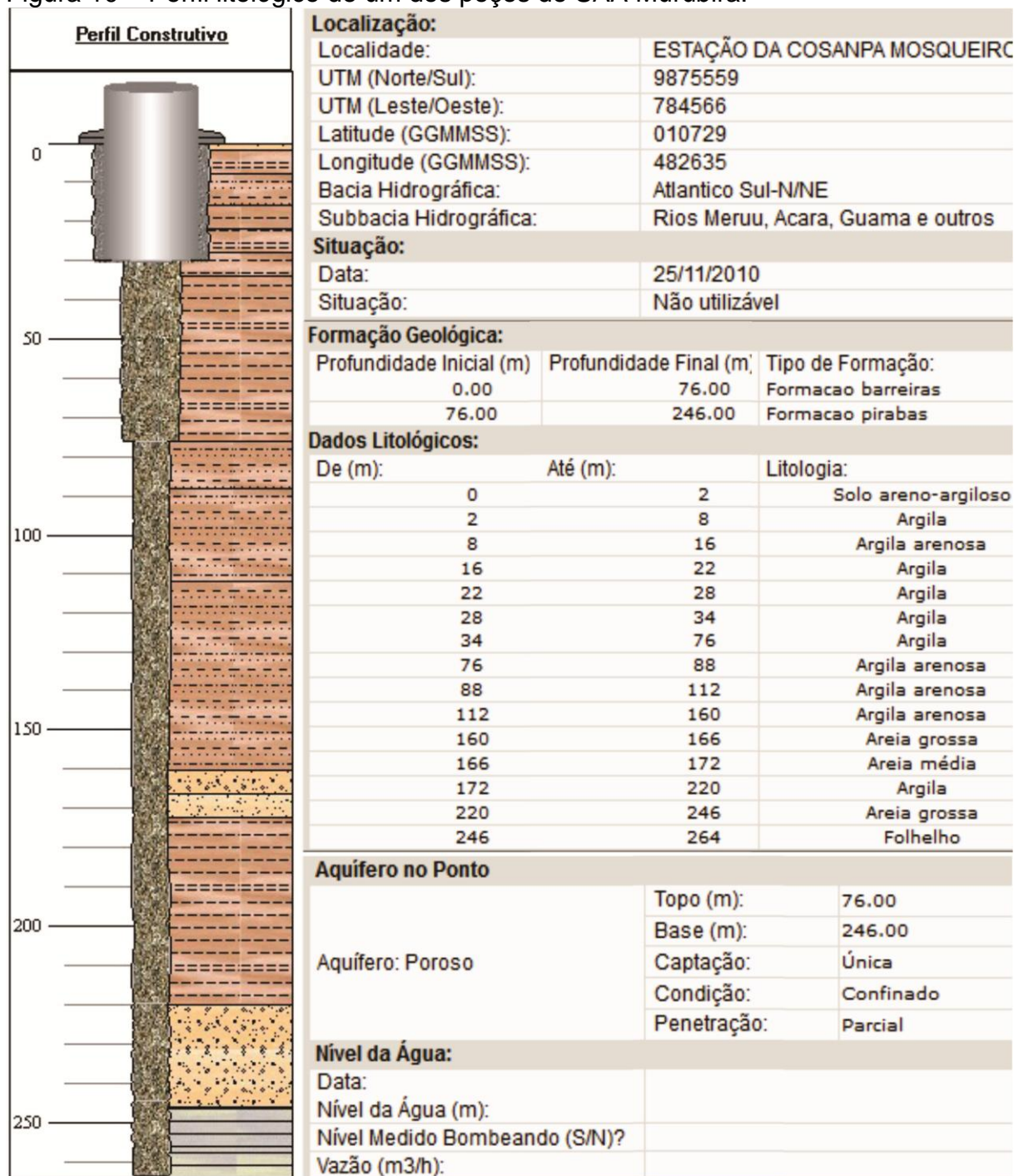


a) poço 1; b) poço 2; c) poço 3; d) poço 4; e) ETA simplificada (aeração para remoção de ferro); f) reservatórios apoiados e g) casa de química.

Na figura, pode ser observada a característica de abandono de algumas unidades do SAA Murubria. Os poços 2, 3 e 4 apresentam características de abandono, sendo que o poço 2 é o maior exemplo disso, já que está coberto por vegetação e não apresenta laje em concreto, utilizada para a proteção da entrada do poço.

Na Figura 10 pode ser observado o perfil litológico de um dos poços do SAA Murubira, que de acordo com a CPRM, até a última inspeção não estaria utilizável.

Figura 10 – Perfil litológico de um dos poços do SAA Murubira.



Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015).

É notado na figura, que nessa área, até a profundidade de 76 metros a geologia é caracterizada pela formação Barreiras. A partir dessa profundidade até a



perfuração final do poço (a 264 metros), a formação é Pirabas. As camadas argilosas observadas na litologia nesse ponto são de extrema importância para o aquífero artesiano, pois apresenta pouca permeabilidade, impedindo desse modo, a infiltração de contaminações do esgoto, postos de gasolina, cemitérios entre outros.

#### 5.1.2.2 SAA 5ª Rua (SAAEB)

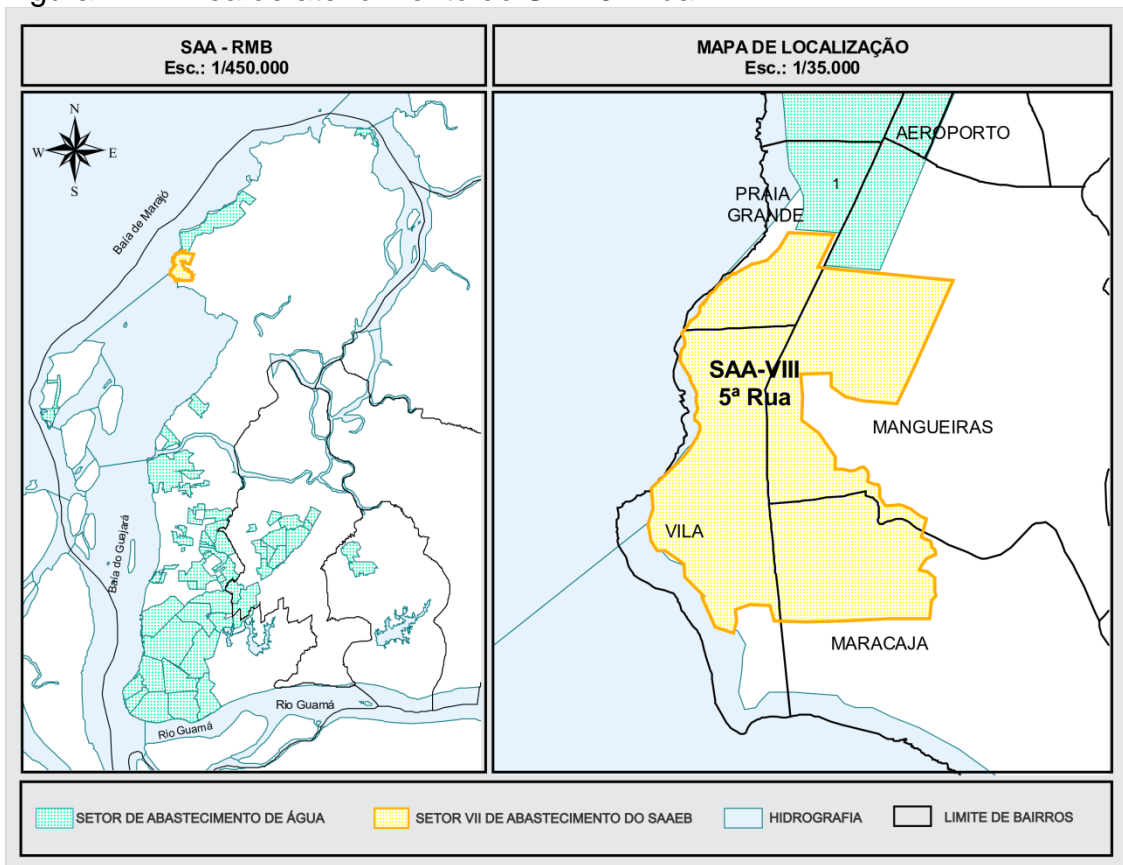
Está localizada em área de 3.478,00m<sup>2</sup>, na Rua Padre Manuel Raiol (5ª Rua) com Travessa Coronel José Mota. Na Figura 11 pode ser observada entrada da Unidade 5ª Rua, que é operada pelo SAAEB.

Figura 11 – Entrada do SAA 5ª Rua.



A Figura 12 mostra a área atendida pelo SAA da 5ª Rua, operado pelo SAAEB.

Figura 12 – Área de atendimento do SAA 5ª Rua.



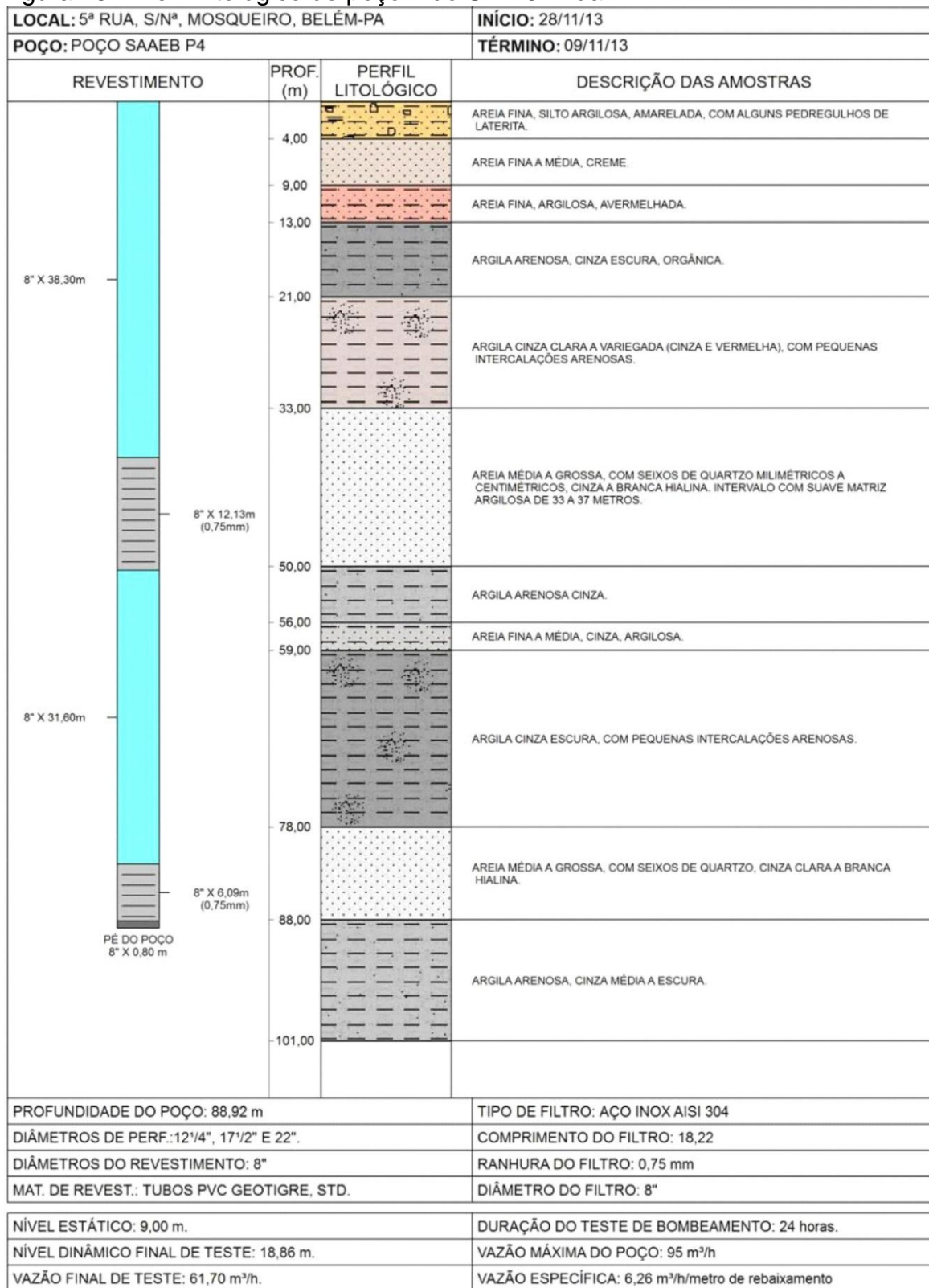
Fonte: Companhia de Saneamento do Pará (2006).

De acordo com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014), a unidade 5ª Rua é composta por 1 cisterna semielevada, com capacidade para 700 m<sup>3</sup> e construída em concreto armado, 2 poços tubulares profundos, com 270 m e 90 m de profundidade (Figura 13), 2 conjuntos motor e bomba (CMB) submersos, sendo o primeiro de modelo S45-07; 760/025/2238TR - Fabricante LEÃO, localizado há 126 m de profundidade, com potência de 25 CV e acionamento por painel de comando elétrico Soft Starter – SSW 03 / 220V, e o segundo CMB, de modelo S45-06; 710/022/2238TR – Fabricante LEÃO, submerso há 36 m, com potência de 22,5 CV e acionamento por painel de comando elétrico com alto transformador compensador de partida.

A subestação abaixadora de tensão do sistema, é constituída de poste, transformador de 225KVA/220V e quadro de medição em cabine.

Na Figura 13 e figura podem ser observados os perfis litológicos de dois dos poços do SAA 5ª rua.

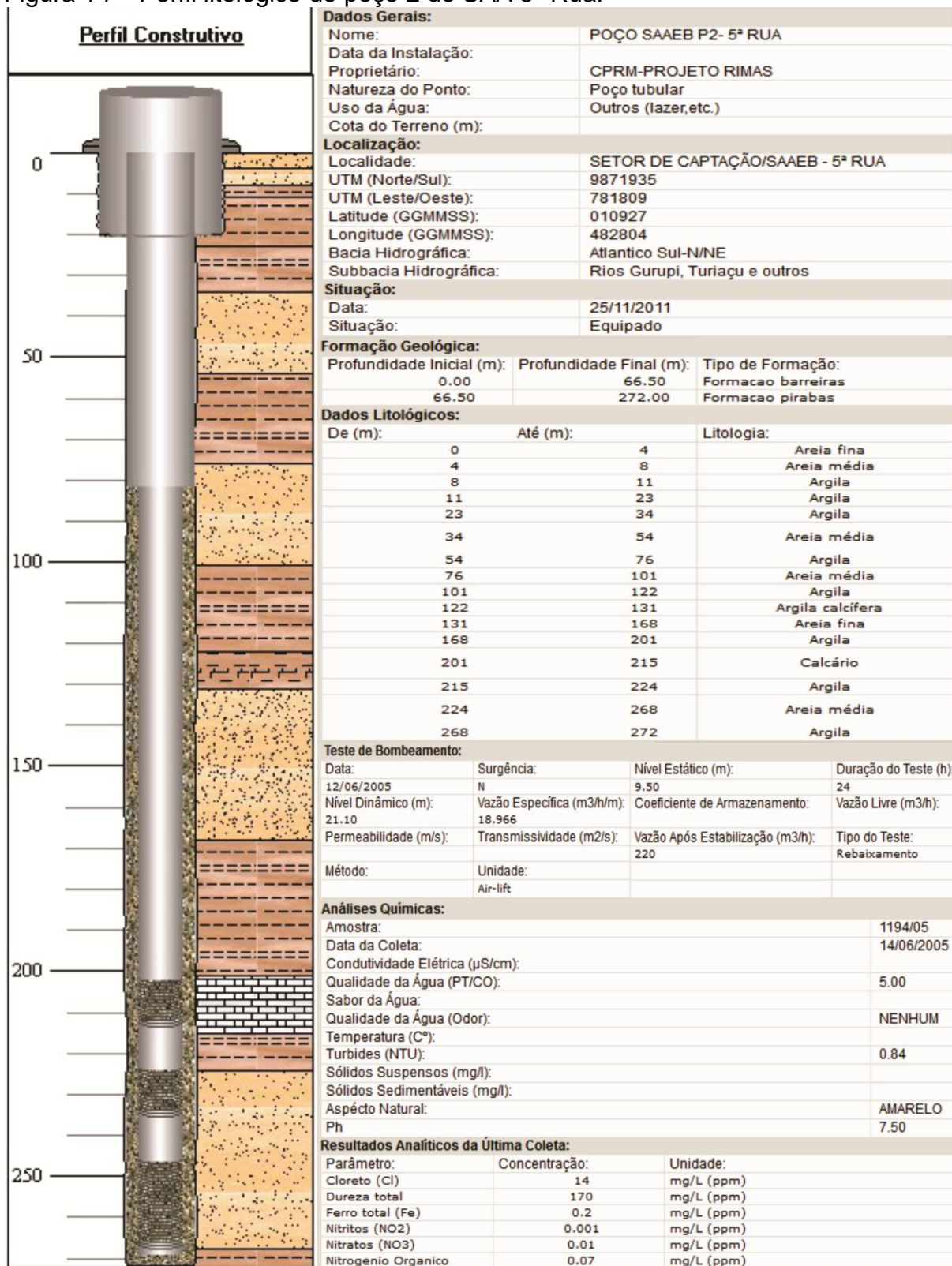
Figura 13 – Perfil litológico do poço 4 do SAA 5ª Rua.



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014).



Figura 14 – Perfil litológico do poço 2 do SAA 5ª Rua.



Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015).

A rede de distribuição da unidade é composta em PVC e PBA com uma extensão total de 18.214 m e apresenta cerca de 1.500 ligações domiciliares, sendo 750 contempladas com hidrômetros de 3,00m<sup>3</sup>/h de vazão (BELÉM, 2014b).

Na Tabela 5 é observada a extensão de acordo com os diâmetros da rede de abastecimento cadastrada do Setor VIII que abastece a ilha do Mosqueiro

Tabela 5 – Diâmetros e extensão da rede que abastece o Setor VIII do SAAEB.

<b>Bacia 5ª Rua</b>	
<b>DN (mm)</b>	<b>Extensão (m)</b>
350	183,00
250	75,00
200	1.464,00
150	3.500,00
100	1.500,00
75	3.369,00
50	8.123,00
<b>Total</b>	<b>18.214</b>

Fonte: BELÉM (2014b).

A Figura 15 ilustra algumas unidades operacionais do setor VIII.

Figura 15 – Unidades operacionais do SAA 5ª Rua.

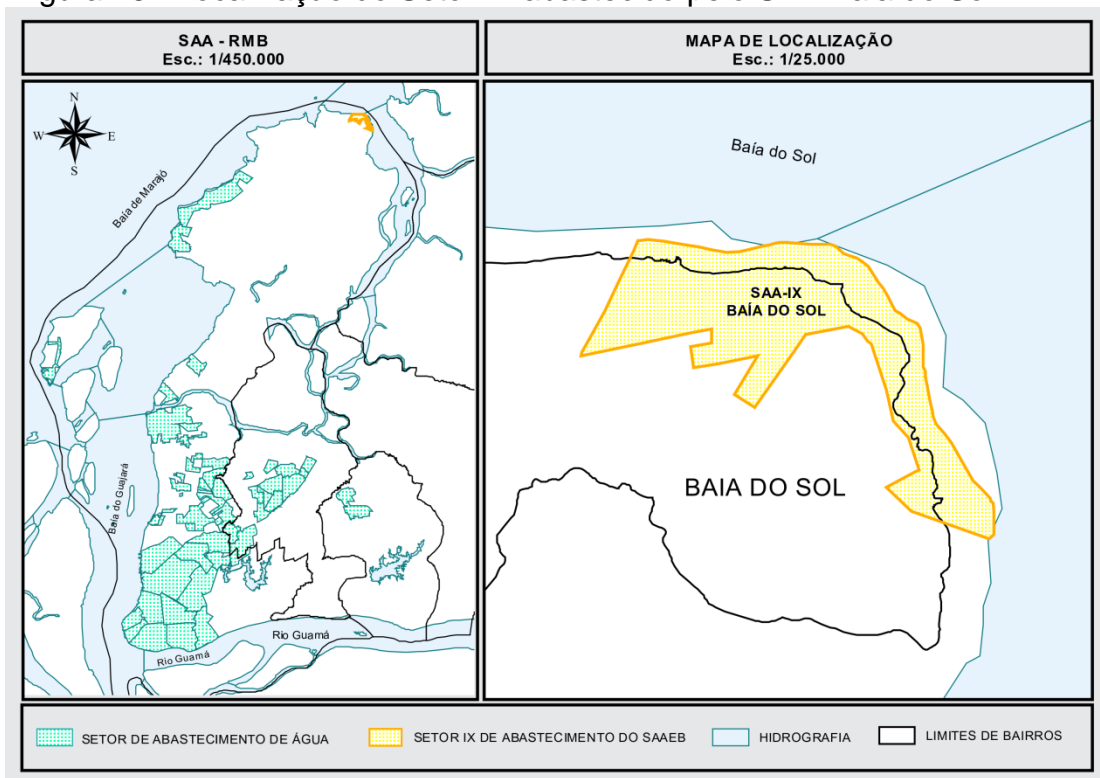


Fonte: Belém (2014b).

### 5.1.2.3 SAA Baia do Sol

A unidade localiza-se na Br-13 s/n, entre a Passagem São Geraldo e Passagem Dias Rosado, possui área de 753 m<sup>2</sup> aproximadamente. Na Figura 16 pode ser visualizada a localização do IX setor do SAAEB, cuja unidade de abastecimento é a Baia do Sol.

Figura 16 - Localização do Setor IX abastecido pelo SAA Baia do Sol.



Fonte: Companhia de Saneamento do Pará (2006).

O SAA Baia do Sol é composto por 1 reservatório elevado cilíndrico, de capacidade para 50 m<sup>3</sup> e altura de 12,60 m, cisterna construída em concreto armado, semielevada, com capacidade para 700 m<sup>3</sup> de água, 1 CMB submerso (78,00 m de profundidade), modelo S85-05; 403/050/2238TR com potência de 50 CV do fabricante LEÃO e acionamento através de painel de comando elétrico com alto transformador compensador de partida. A subestação abaixadora de tensão é constituída de poste, transformador de 112,5 KVA e chave de 220 V x 200 com quadro de medição em cabine (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM, 2014).

O poço existente na unidade é tubular profundo, com 270 m de profundidade, na formação Pirabas, revestido com tubos de aço carbono *Schedule* 40 com as seguintes dimensões:  $\varnothing$  12" (300 mm) da câmara de bombeamento da boca do poço até 110 m, onde reduz para  $\varnothing$  8" (200 mm) até a profundidade de 230 m. A partir de 230 m até a profundidade de 270m está instalado 40 m de filtros de aço inox AISI-304 com diâmetro de 200 mm e vazão máxima 350 m<sup>3</sup>/h (BELÉM, 2014b).

A rede de distribuição da unidade é composta em PVC com uma extensão total de 9.494 m e apresenta 497 ligações domiciliares com hidrômetros de 3,00 m<sup>3</sup>/h de vazão (BELÉM, 2014b).

Tabela 6 – Diâmetros e extensão da rede que abastece o IX Setor do SAAEB.

<b>Bacia 5ª Rua</b>	
<b>DN (mm)</b>	<b>Extensão (m)</b>
200	24,00
150	774,00
100	2.724,00
75	1.032,00
50	4.940,00
<b>Total</b>	<b>9.494,00</b>

Fonte: Belém (2014b).

Na Figura 17 Pode ser observado o reservatório elevado do SAA Baía do Sol.

Figura 17 – Reservatório elevado do SAA Baía do Sol.



Fonte: Belém (2014a).

#### 5.1.2.4 SAA Carananduba

Localiza-se na Rodovia Augusto Meira Filho e possui uma área de 512,00m<sup>2</sup>, aproximadamente.

O SAA Carananduba contém 1 reservatório elevado cilíndrico, construído em concreto armado, com 12,50 m de altura e capacidade para 660 m<sup>3</sup>. O poço tubular existente tem 270 m de profundidade, sendo revestido com tubos de aço carbono *Schedule 40*, contendo as seguintes dimensões: Ø 12" (300mm) da câmara de bombeamento da boca do poço até 110m, onde reduz para Ø 8" (200mm) até a profundidade de 230m. a partir de 230m até a profundidade de 270m está instalado 40m de filtros de aço inox AISI-304 com diâmetro de 8" (200mm).

O CMB submerso instalado no poço é de modelo BHS – 1015-03; Mi8S de fabricação EBARA, e está alocado há 78m de profundidade e tem potência de 115Cv. Seu acionamento é realizado por meio de painel de comando elétrico com alto transformador compensador de partida, sendo a subestação abaixadora de tensão da unidade, composta de poste, transformador de 150 KVA - 220V com cabine de medição (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM, 2014).



O aquífero explorado é da formação Pirabas, teve sua operação iniciada em 2007 e opera atualmente com uma vazão máxima da ordem 350 m<sup>3</sup>/h. A Figura 18 ilustra o SAA Carananduba.

Figura 18 – SAA Carananduba.



A rede de distribuição da unidade é composta em PVC e PBA com uma extensão total de 15.589 m e apresenta 1.497 ligações domiciliares contempladas com hidrômetros de 3,00 m<sup>3</sup>/h de vazão (BELÉM, 2014b).

A Tabela 7 apresenta o comprimento de redes em função do diâmetro na unidade Carananduba.

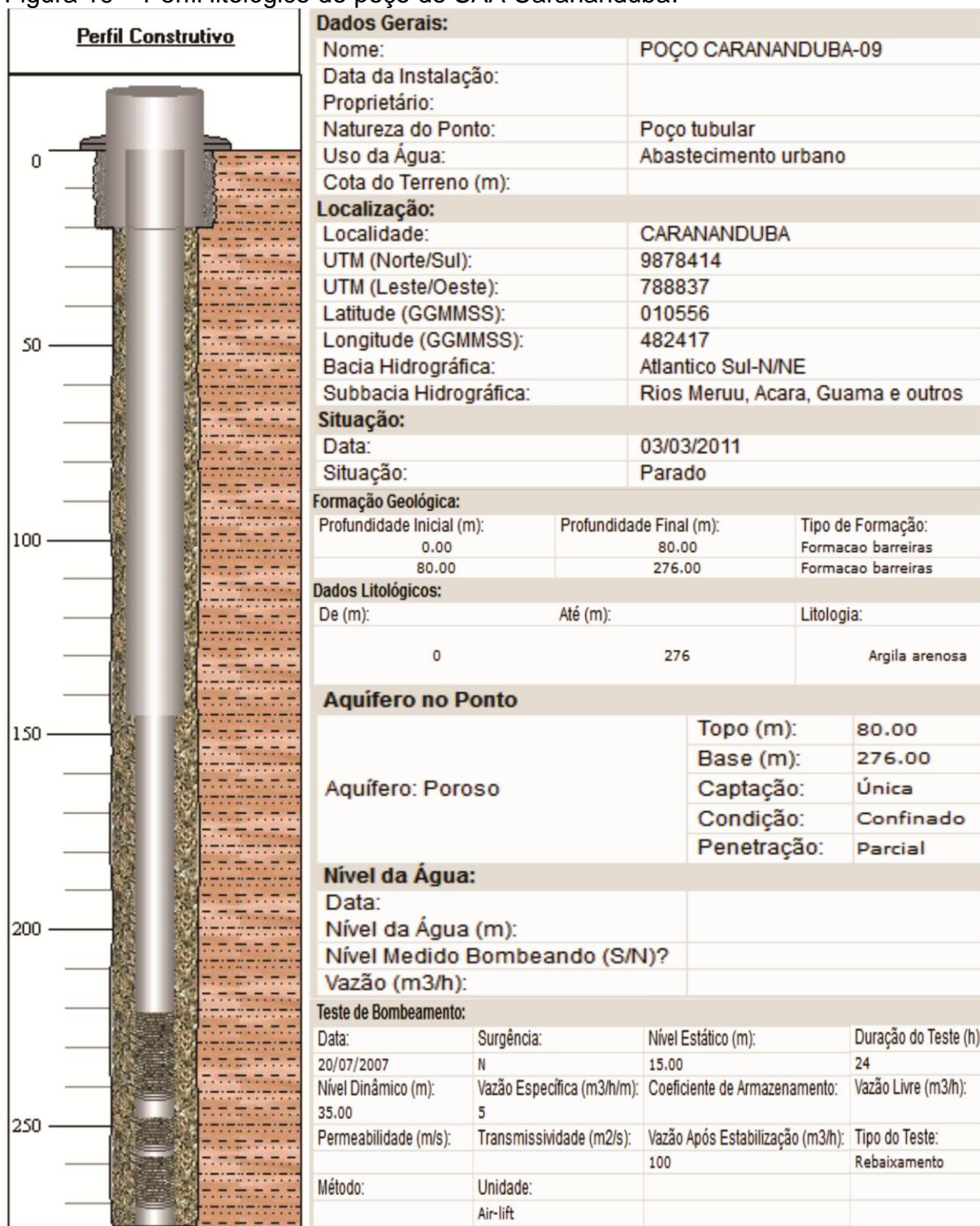
Tabela 7 – Diâmetros e extensão da rede da unidade Carananduba.

<b>Carananduba</b>	
<b>DN</b>	<b>Extensão (m)</b>
300mm	36,00
200mm	858,00
150mm	1.632,00
100mm	1.110,00
75mm	1.632,00
50mm	10.321,00
<b>Total</b>	<b>15.589</b>

Fonte: Belém (2014b).

A litologia na área do SAA Carananduba pode ser observada no perfil do poço do SAA, mostrado na Figura 9.

Figura 19 – Perfil litológico do poço do SAA Carananduba.



Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015).

#### 5.1.2.5 SAA Praia do Bispo

Localizada na TV. Coronel José Mota, com uma área de 973,00 m<sup>2</sup>, aproximadamente, a unidade Praia do Bispo é composta por 2 reservatórios elevados cilíndricos, construídos em concreto armado, tendo o primeiro, altura de 15 m e capacidade para 500m<sup>3</sup>, e o segundo, altura de 14 m e 540 m<sup>3</sup> de capacidade

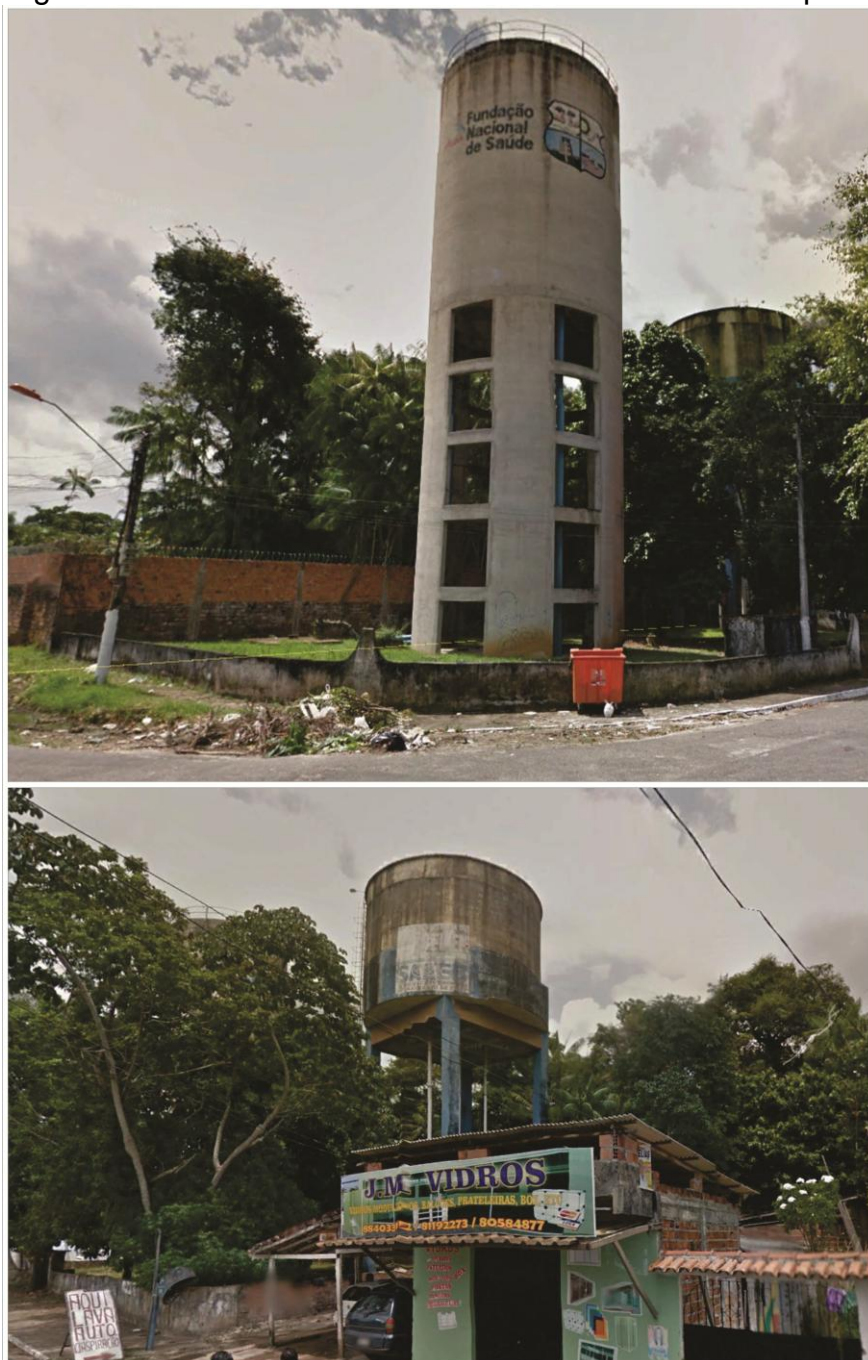
A unidade Praia do Bispo contem ainda 1 poço tubular profundo de 270m de profundidade, revestido com tubos de aço carbono *Schedule* 40 com as seguintes dimensões: Ø 12" (300mm) da câmara de bombeamento da boca do poço até 110m, onde reduz para Ø 8" (200mm) até a profundidade de 230m. A partir de 230m até 270m de profundidade, estão instalados 40m de filtros de aço inox AISI-304 com diâmetro de 8" (200mm). Desse poço é bombeada água por um CMB submerso há 72,00m de profundidade, modelo S45-04; 710/014/2238TR, do fabricante LEÃO, com potência de 14CV, que é acionamento por painel elétrico com alto transformador compensador de partida (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM, 2014).

O aquífero explorado é da formação Pirabas, teve sua operação iniciada em 2002 e opera atualmente com uma vazão máxima da ordem 350 m<sup>3</sup>/h (BELÉM, 2014b).

Na Figura 20 podem ser observados os reservatórios do SAA Praia do Bispo.



Figura 20 - Reservatórios elevados do SAA Praia do Bispo.



A rede de distribuição da unidade é composta em PVC e PBA com uma extensão total de 21.490 m e apresenta 2.966 ligações domiciliares, sendo 1050 contempladas com hidrômetros de 3,00 m<sup>3</sup>/h de vazão (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM, 2014).

Tabela 8 - Diâmetros e extensão da rede do SAA Praia do Bispo.

<b>Praia do Bispo</b>	
<b>DN</b>	<b>Extensão (m)</b>
250mm	286,00
200mm	688,00
150mm	458,00
100mm	1.944,00
75mm	4.576,00
50mm	13.538,00
<b>Total</b>	<b>21.490,00</b>

Fonte: Belém (2014b).

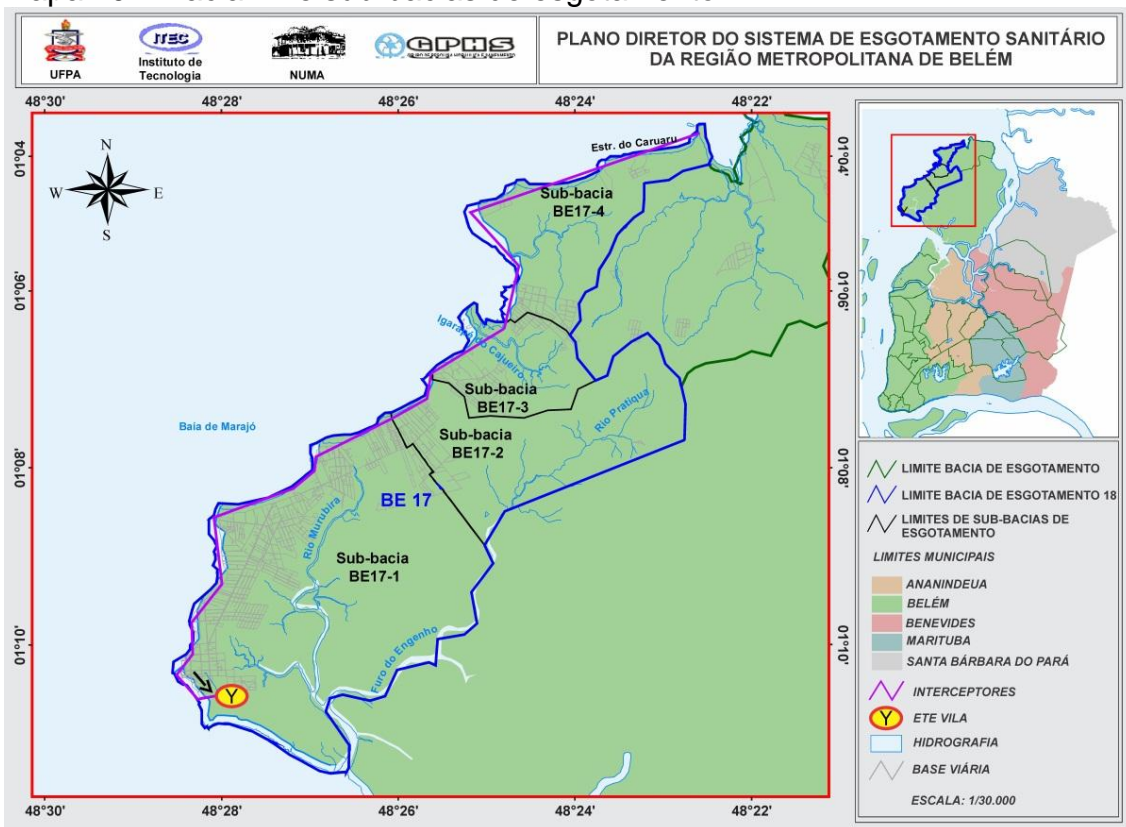
A pesar das unidades de abastecimento de água existentes, é observada na ilha do Mosqueiro, uma divisão em duas áreas, sendo que a primeira (onde se localiza os bairros mais populosos da ilha, no caso, Porto Arthur, Chapéu Virado, Farol, Praia Grande, Vila, Maracajá, etc.) é predominantemente abastecida por unidades da COSANPA e SAAEB, e a segunda (composta pelos bairros do Paraíso, Caruara, Marahú, São Franciscom, Bonfim, Sucurijuquara e Baía do Sol) abastecida em sua maioria por soluções alternativas e individuais, como poços tubulares rasos e poços amazonas, que são altamente vulneráveis a contaminações. É importante citar que além da problemática da população não atendida com abastecimento público, a população atendida sofre com as deficiências operacionais desses sistemas e acabam por recorrer as soluções individuais.

### 5.1.3 Sistema de esgotamento sanitário

As obras para implantação do Sistema de Esgotamento Sanitário da ilha do Mosqueiro foram iniciadas no ano de 2003 (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ, 2007).

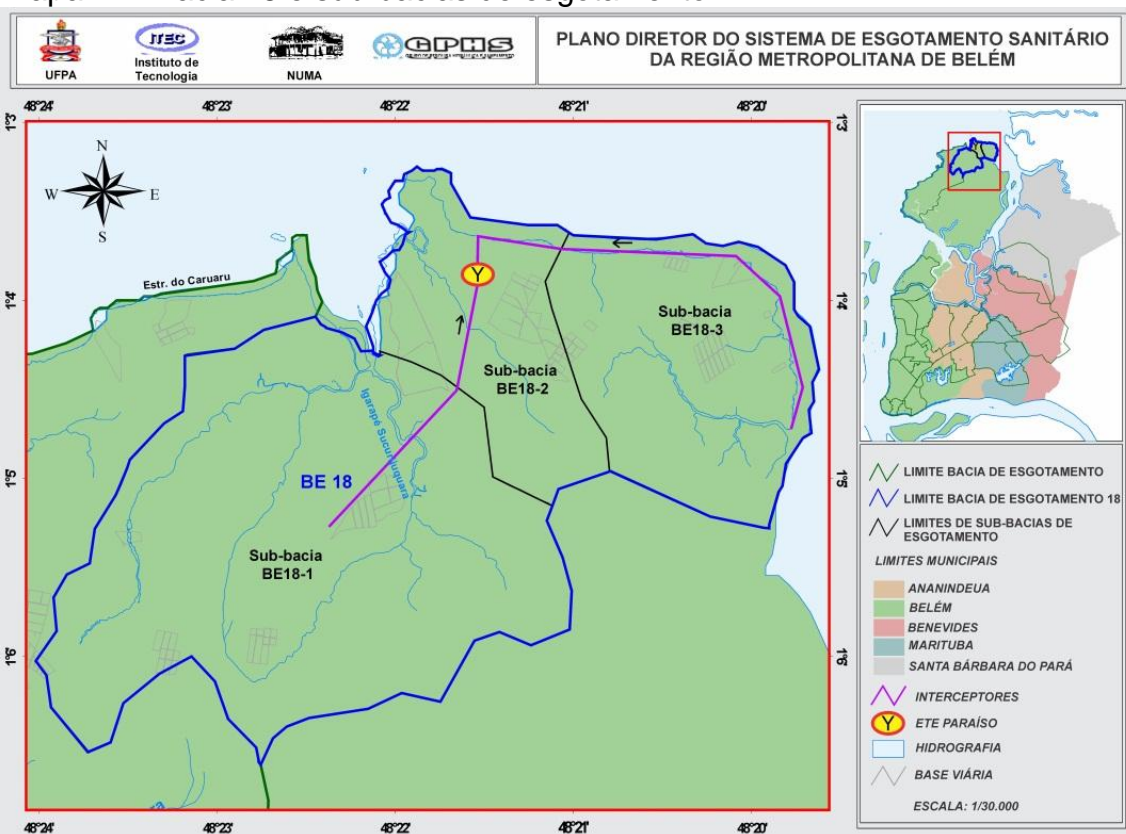
No Plano Diretor do Sistema do Esgotamento Sanitário (PDSES) da RMB, elaborado no ano de 2007, foi realizada divisão da ilha em bacias e sub-bacias de esgotamento, conforme pode ser observado na Mapa 10 e Mapa 11.

Mapa 10 – Bacia 17 e sub-bacias de esgotamento.



Fonte: Companhia de Saneamento do Pará (2007).

Mapa 11 – Bacia 18 e sub-bacias de esgotamento.



Fonte: Companhia de Saneamento do Pará (2007).

Atualmente, os sistemas de esgotamento sanitário existentes são gerenciados pelo SAAEB e o único em funcionamento (ETE Vila), apresenta deficiências operacionais.

A exemplo do que tem ocorrido no SES da ilha do Mosqueiro cita-se as lagoas aeradas facultativas de uma das unidades de tratamento de esgoto na ilha. Essa unidade, com eficiência de tratamento prevista para 97%, atualmente não opera pela falta dos aeradores e pela deterioração do tanque de contato utilizado na desinfecção do esgoto (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM, 2014).

A seguir, serão descritas as unidades do SES da ilha do Mosqueiro.

#### 5.1.3.1 SES EEE – B1

Localizado no início da travessa Francisco Xavier Cardoso (6ª Rua), com uma área de 17.017 m<sup>2</sup> aproximadamente. O sistema é composto de uma estação de tratamento de esgoto constituída de 3 lagoas de estabilização com áreas de 32,00m x 50,00m, 31,20m x 50,00m e 47,30m x 32,00m, 1 poço de sucção em concreto armado, com 6 m de diâmetro 5 m de profundidade, 1 bomba para esgotamento, com 5 CV, de modelo CP3126LT e 45m<sup>3</sup>/h de vazão de operação, além da subestação localizada em poste de concreto, com transformador de 112,5KVA 220V contendo cabine de medição (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM, 2014). Na Figura 21 é apresentado o sistema EEEB-B1.



Figura 21 – Entrada do sistema EEEB-B1 do SAAEB.



Na Figura 22 são apresentadas suas unidades.

Figura 22 – Lagoa de estabilização (a) e EEE (b) na unidade EEEB-B1.



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014).

#### 5.1.3.2 SES EEE – B1A

Está localizada na Rua Siqueira Mendes, entre Rua Coronel José do Ó e Rua 15 de novembro, próximo ao cemitério. Tem área de 201 m<sup>2</sup> aproximadamente. O sistema de recalque é composto de 1 bomba para esgotamento, com 5 CV, modelo CP3101 LT, e 45 m<sup>3</sup>/h de vazão de operação. O poço de sucção cilíndrico existente, é construído em concreto armado, com diâmetro de 3 m e profundidade



de 3,5 m, sendo a subestação existente na unidade, composta por transformador de 75KVA 220V com cabine de medição. Na Figura 23 pode ser observado o terreno localização da a EEE – B1A, coberto por vegetação e lixo, estando fora de operação.

Figura 23 – Terreno de localização da EEE-B1A.



#### 5.1.3.3 SES EEE – B2

Localizada na Rua Padre Manuel Raiol, tendo área de 388 m<sup>2</sup> aproximadamente.

Esse sistema é composto por poço de sucção de forma cilíndrica com diâmetro e profundidade de 5 m, construído em concreto armado, bomba de esgotamento de 5 CV, modelo CP3101 LT, com 45 m<sup>3</sup>/h de vazão de operação, e subestação em poste de concreto, composta de transformador de 112,5KVA 220V com cabine de medição (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM, 2014).

Na Figura 24 podem ser observadas unidades operacionais do sistema.

Figura 24 – Poço de sucção (a) e estação elevatória (b) da Unidade EEE – B2.



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014).

#### 5.1.3.4 SES EEE – B4 AEROPORTO

Este Sistema está localizado na Rua Jardim Rosaris, e apresenta área de 19.487,00 m<sup>2</sup> aproximadamente. Nessa área há 3 lagoas de estabilização, sendo as duas primeiras com 41,50mx68,50m cada, e a última, com 41,00 x 68,50m.

Para recalcar o esgoto, existe 1 bombas de 9,5CV, modelo CP3126 LT com vazão de operação de 70m<sup>3</sup>/h e subestação em poste de concreto com transformador de 150KVA 220V com cabine de medição (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM, 2014). Na Figura 25 são observadas as unidades do SES EEE-B4 Aeroporto.

Figura 25 - Lagoa de estabilização (a) e estação elevatória de esgoto (b) do SES EEE – B4 Aeroporto.



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014).



A ETE de Aeroporto está inoperante, devido a pouca contribuição de esgoto que recebia. Em avaliação técnica foi verificado que mais de 50% da contribuição afluyente à estação era água pluvial. Além desse fator, algumas conexões necessárias para o recalque do esgoto até as lagoas de estabilização foram removidas.

#### 5.1.3.5 SES EEE – B5

O sistema está localizado na Tv. 15 de Novembro e abrange área de 156,00 m<sup>2</sup> aproximadamente, e apresenta os seguintes componentes: 1 bomba de 5CV, modelo CP3101 LT para recalcar 45 m<sup>3</sup>/h de vazão de esgoto, 1 poço de sucção em concreto armado, de forma cilíndrica com 4,00 m de diâmetro e profundidade, e subestação composta transformador de 112,5 KVA 220V com cabine de medição.

Na Figura 26 pode ser observada a estação elevatória da unidade EEE-B5.

Figura 26 – Estação elevatória do SES EEE-B5.



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014).

### 5.1.3.6 SES EEE – B6

Está localizado na Alameda Jairo Barata, sendo composto por 1 bomba de 9,5 CV, Modelo CP3126LT com vazão de operação de 70,00m<sup>3</sup>/h, 1 poço de sucção cilíndrico, em concreto armado, com diâmetro e profundidade de 5,00m e subestação composta por transformador de 112,5KVA 220V com cabine de medição. A unidade está localizada em área de 392 m<sup>2</sup> aproximadamente.

Na Figura 27 é observada a estação elevatória da unidade EEE – B6.

Figura 27 - Estação elevatória SES EEE – B6.



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014).

Apesar das estruturas existentes, de acordo com Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014), atualmente, somente a ETE da vila tem operado, e com capacidade de tratamento em torno de 55%. Dentre os motivos da falta de operação, pode-se citar a defasagem dos equipamentos, falta de peças e rede obstruída, com trechos totalmente comprometidos e sem possibilidade de manutenção. Esses fatores, especialmente o comprometimento da rede coletora, aumenta os risco de contaminação dos aquíferos por conta dos vazamentos e infiltração do esgoto no solo.

A ausência de contribuição de esgoto nas ETEs também tem sido um problema, já que em alguns bairros, mesmo contemplados com sistema de tratamento de esgoto, não estão completamente atendidos com rede, sendo que muitos moradores atendidos com esse serviço não ligam seus ramais de esgoto à rede. Em outros casos, nos quais a rede está rompida, ocorre a entrada de grande quantidade de água pluvial, inviabilizando a operação do sistema de tratamento.

A ETE aeroporto é um exemplo dessa problemática na ilha do Mosqueiro, já que não opera por falta de carga e devido a contribuição pluvial na rede de esgoto, que tem sido elevada. No bairro Aeroporto, algumas áreas próximas à ETE não receberam sequer a pavimentação asfáltica, que para o poder público local tem sido a prioridade em relação ao esgotamento sanitário.

Na Figura 27 podem ser observadas as condições de infraestrutura urbana da Rua da Pedreira, no cruzamento com a Avenida Camilo Salgado, no bairro do Aeroporto.

Figura 28 – Rua da Pedreira, bairro do Aeroporto.





## 5.2 COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (CRSU)

A CRSU na ilha do Mosqueiro é realizada pela empresa TERRAPLENA em cinco roteiros, sendo um diário (de domingo a domingo), realizado nas áreas mais movimentadas, no caso, beira-mar (praias), Avenida 16 de novembro, praça da vila, mercado central e duas feiras (Informação verbal<sup>1</sup>). Na Figura 29 pode ser observada área da Praça da Vila, próxima a beira mar, na Rua Nossa Senhora do Ó.

Figura 29 – Praça da vila.



Os outros quatro roteiros ocorrem em dias alternados, sendo dois roteiros realizados na segunda, quarta e sexta feira, e mais dois realizados na terça, quinta e sábado.

Os veículos utilizados na coleta de resíduos sólidos na ilha são caminhões modelo Mercedes Benz 1718, com compactador acoplado. Esses compactadores são do modelo PLANALTO ou USIMECA e tem capacidade para 10 toneladas.

---

<sup>1</sup> José Maria de Matos Junior. Engenheiro Sanitarista do setor de Resíduos Sólidos da TERRAPLENA. Entrevista concedida a Raynner Menezes Lopes. Belém, 17 de Janeiro de 2015.

Em uma semana é coletada na ilha do Mosqueiro, uma média de 130 toneladas de resíduos sólidos urbanos, com exceção dos entulhos, que são coletados por caçambas. Nos períodos de férias e feriados prolongados, o volume de resíduos é maior, havendo necessidade de aumento na frota de caminhões compactadores. Todos os resíduos coletados na ilha do Mosqueiro são encaminhados ao lixão do Aurá, localizado no município de Belém (informação verbal<sup>2</sup>).

De modo geral foi observado que a coleta de resíduos sólidos na ilha tem sido eficaz, até mesmo nas áreas menos urbanizadas, com é o caso do bairro do Caruara (Figura 30).

Figura 30 – Bairro Caruara.



Não foram observadas grandes quantidades de lixo orgânico acumulado por períodos prolongados nas áreas visitadas. Mesmo em áreas de difícil acesso para os caminhões compactadores, como algumas ruas do Bairro do Paraíso (Figura 31).

<sup>2</sup> José Maria de Matos Junior. Engenheiro Sanitarista do Setor de Resíduos Sólidos da TERRAPLENA. Entrevista concedida a Raynner Menezes Lopes. Belém, 17 de Janeiro de 2015.

Figura 31 – Bairro do Paraíso.



O fato de os resíduos serem encaminhados para o lixão do Aurá exime essa área da ilha do Mosqueiro de riscos significativos de contaminação dos aquíferos.

### 5.3 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Com a realização das campanhas de amostragem na ilha do Mosqueiro, se obteve os resultados dos IQAs observados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores dos IQAs obtidos nas águas subterrâneas da ilha do Mosqueiro.

Bairros	IQAS		IRQ		IQNAS	
	Menos chuvoso	Chuvoso	Menos chuvoso	Chuvoso	Menos chuvoso	Chuvoso
Paraíso	2,42	2,65	0,062	0,078	79,84	77,28
Marahú	2,57	2,33	0,079	0,062	77,05	78,55
Caruara	2,60	2,96	0,083	0,092	76,75	75,57
Porto Arthur	3,93	4,07	0,188	0,202	23,93	46,12
Chapéu Virado	3,63	4,09	0,185	0,185	0,00	23,99
Murubira	2,63	3,55	0,191	0,194	0,00	24,05
Farol	3,71	4,00	0,214	0,184	22,19	24,65
Praia Grande	3,75	3,84	0,199	0,213	0,00	0,00
Vila	2,79	3,82	0,204	0,210	0,00	0,00

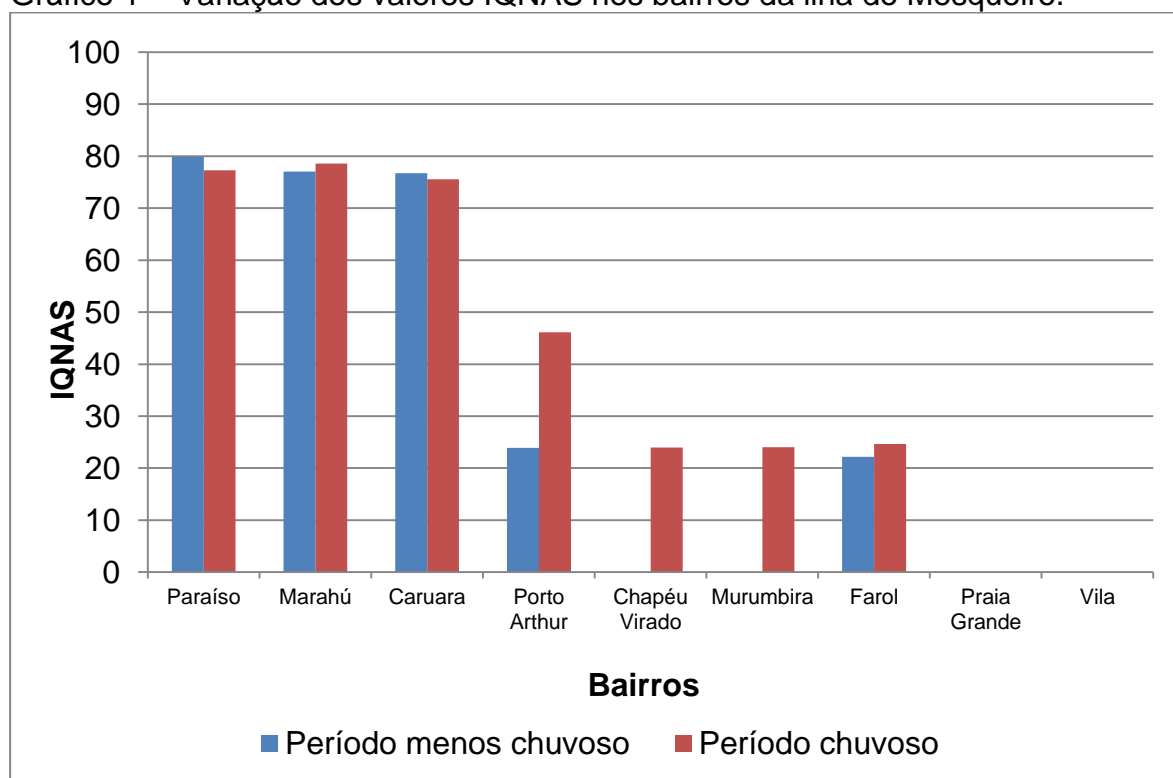


## 5.4 IQNAS

As faixas de valores de IQNAS calculados mostraram redução significativa de qualidade da água subterrânea nos bairros do Murubira, Porto Arthur, Chapéu Virado, Farol, Praia Grande e Vila, onde a urbanização é mais intensa, especialmente no mês de julho, período de férias escolares onde há significativo aumento de pessoas nessa área.

No Gráfico 1 pode ser observada a variação dos valores de IQNAS ao longo dos bairros estudados na ilha do Mosqueiro.

Gráfico 1 – Variação dos valores IQNAS nos bairros da ilha do Mosqueiro.



Nesses bairros da ilha, além dos sistemas de esgotamento sanitário inoperantes, distribuídos em vários pontos, e que podem eventualmente estar acumulando esgotos não bombeados nos poços de sucção e nas lagoas de estabilização não operadas, há também um cemitério ativo, localizado mais especificamente entre os bairros da Vila e Maracajá, a uma esquina da unidade EEE-B1A, operada pelo SAAEB. A presença dessas fontes pontuais de

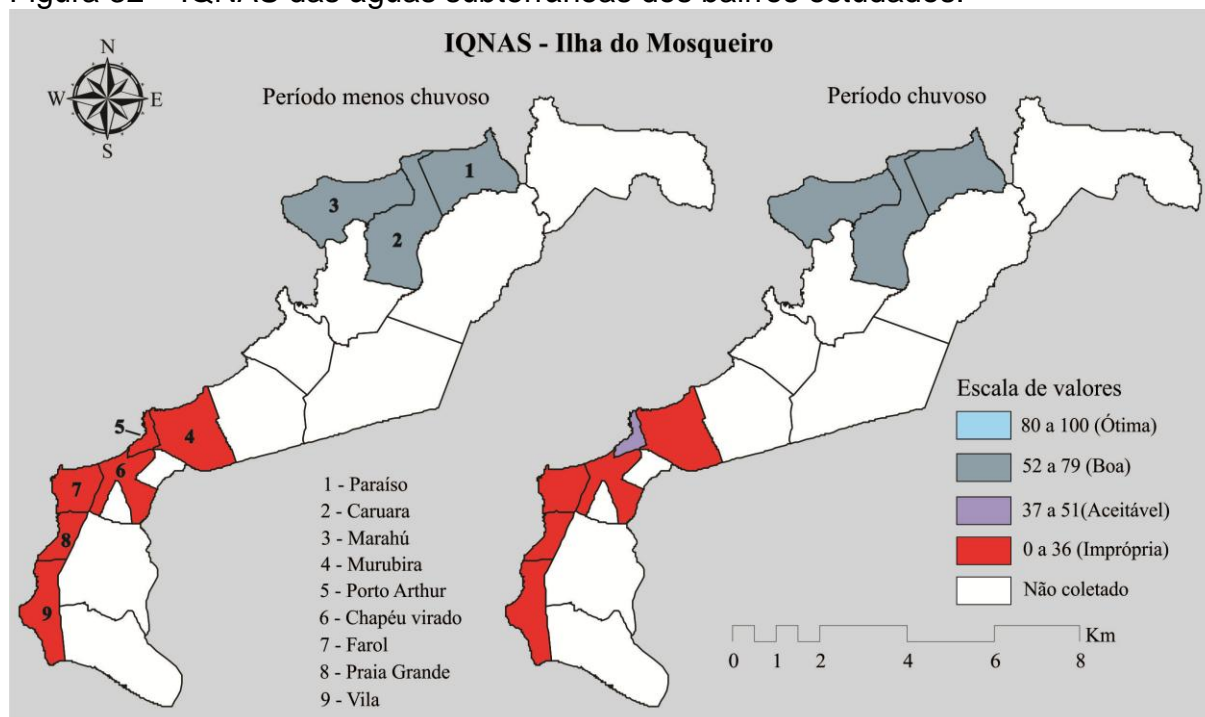
contaminação caracteriza área como tendo risco em potencial para a integridade dos aquíferos.

Em análises físico-químicas realizadas por Neira *et al.* (2008), no cemitério de Santa Inês, município de Vila Velha, estado do Espírito Santo, foi constatada a presença de compostos nitrogenados em índices elevados, inclusive nos valores encontrados para amônia, que indica poluição recente e refere-se ao primeiro estágio de decomposição da matéria orgânica.

Apesar da existência de SAA e SES nessa área, fica evidente que os impactos ocasionados pela urbanização e falta de manutenção desses sistemas vem contribuindo para a degradação da qualidade da água de abastecimento da ilha. A falta de manutenção adequada da rede de distribuição de água pode comprometer sua estanqueidade, especialmente no sistema operado pela COSANPA, no qual a água é bombeada diretamente para a rede. Sem reservatórios elevados para estabilizar as pressões na rede, a instabilidade na pressão (picos de pressão positiva e negativa) gerada pelo acionamento e desligamento dos CMBs na rede antiga, pode gerar rompimentos. Em áreas contaminadas, as pressões negativas em pontos rompidos, podem importar as contaminações para o interior da rede, e leva-las aos consumidores.

Na Figura 32 pode ser observada a distribuição dos bairros na Ilha do Mosqueiro e seus respectivos conceitos de qualidade da água pelo IQNAS, nos períodos menos chuvoso e chuvoso.

Figura 32 – IQNAS das águas subterrâneas dos bairros estudados.



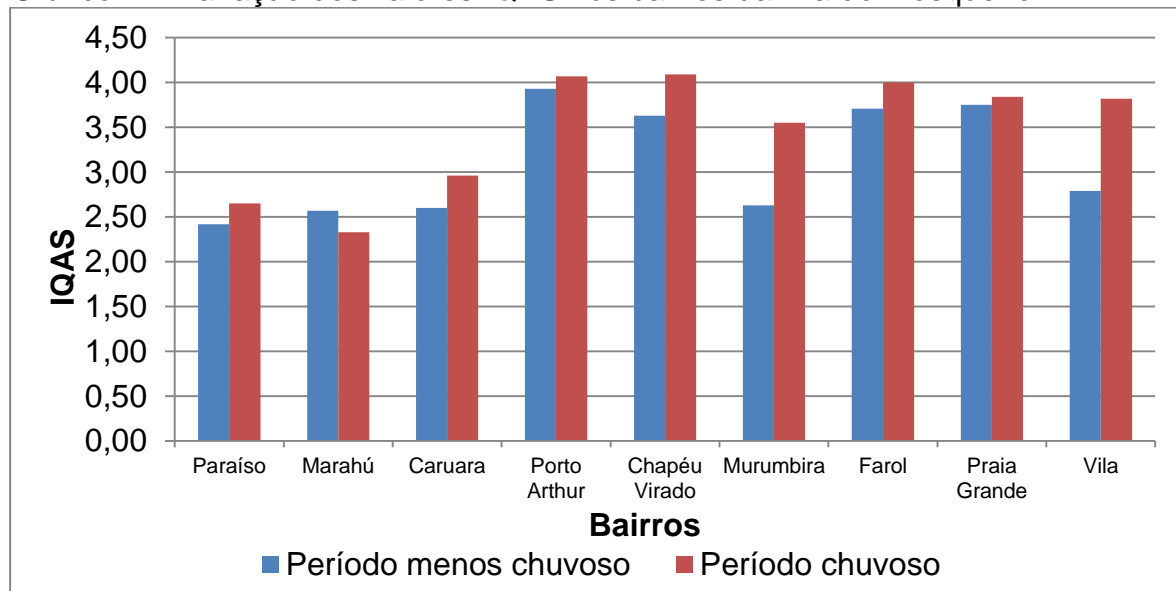
Os bairros do Paraíso, Caruara e Marahú, que têm menor ocupação urbana, apresentaram considerável aumento de qualidade. Essa diferença também pode ser observada na sazonalidade, já que o bairro Porto Arthur, apresentou qualidade imprópria para consumo no período menos chuvoso, e qualidade boa no período chuvoso. Esse fator sugere um processo de diluição pontual, ocasionado pelas intensas precipitações pluviométricas nessa região. Vale ressaltar que no bairro Porto Arthur, um dos pontos de coleta foi de água proveniente de poço freático.

## 5.5 IQAS

Na determinação do IQAS, foi observado que os maiores valores se concentraram nos bairros já citados como os mais urbanizados da ilha, no caso, Porto Arthur, Chapéu Virado, Murubira, Farol, Praia Grande e Vila. De acordo com Coutinho *et al.* (2013), os valores obtidos no IQAS são proporcionais ao potencial de poluição do aquífero, mostrando que a aplicação desse índice foi eficaz e apresenta resultados condizentes com o IQNAS, já que ambos os índices apresentaram diminuição da qualidade da água nas áreas urbanizadas da ilha.

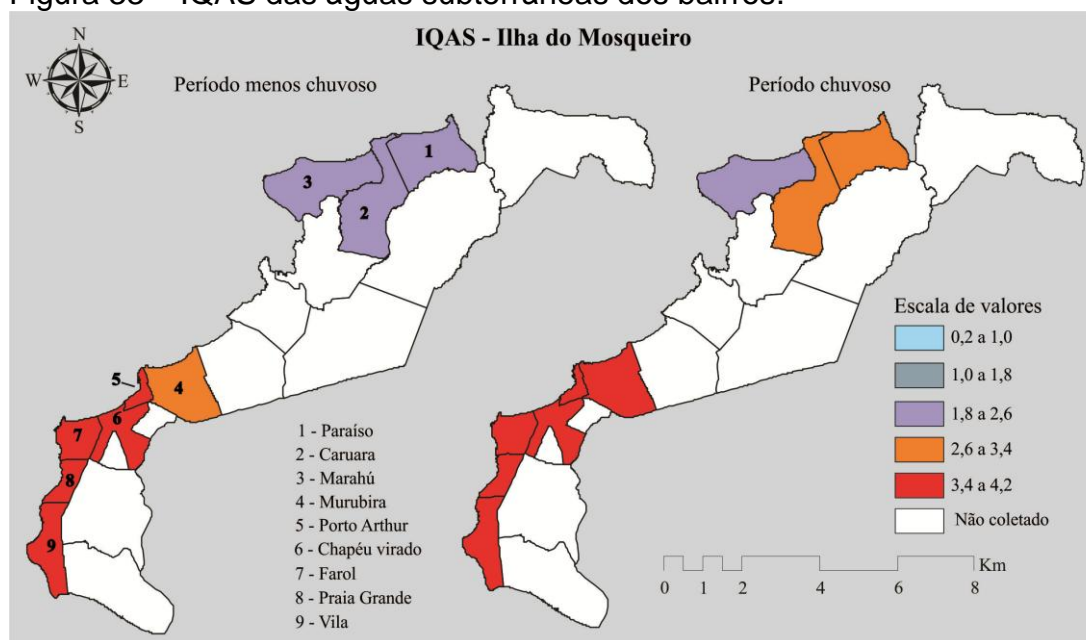
No Gráfico 2 podem ser observadas as variações nos valores de IQAS obtidos para os bairros estudados.

Gráfico 2 – Variação dos valores IQAS nos bairros da ilha do Mosqueiro.



No período chuvoso, foi verificada queda nos valores de IQAS no bairro do Paraíso e Caruara, que estão localizados na área menos populosa e contemplada com saneamento na ilha. Na Figura 33, a escala de valores do IQAS nos bairros é comparada para o período chuvoso e menos chuvoso.

Figura 33 – IQAS das águas subterrâneas dos bairros.



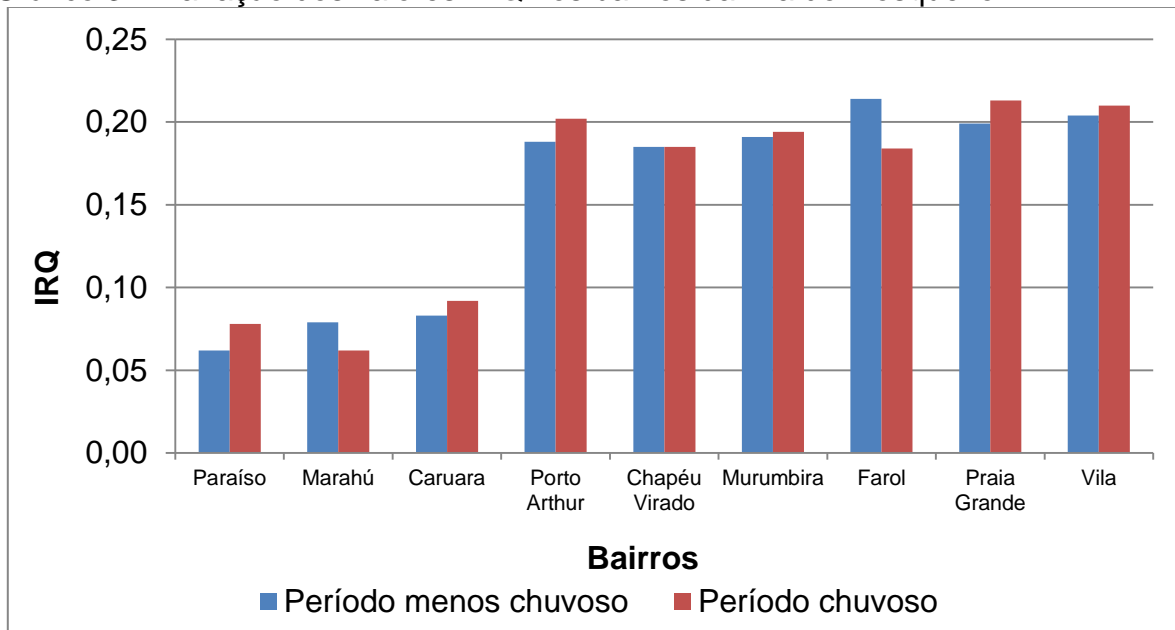
Na análise dos parâmetros utilizados no cálculo do IQAS, foi observada maior influência do cloreto em relação aos valores de nitrato. A presença de cloretos em águas subterrâneas poderia estar relacionada com intrusão marinha (COUTINHO *et al.* 2013), outros fatores naturais (CONCEIÇÃO *et al.* 2009 *apud* Capp, 2012), ou fatores antrópicos. Para Viana (2009), o cloreto indica ocorrência de contaminação por resíduos domiciliares ou industriais, que pode ser ocasionada pela ausência de proteção dos poços, pequena distância entre o poço e fossa ou a deposição de águas servidas a céu aberto, que podem infiltrar. Nascimento e Barbosa (2005) detectaram elevadas concentrações de cloretos no aquífero freático de uma área da bacia do rio Lucaia na Bahia, onde havia grande quantidade de lixo. A maior fonte de contaminação do aquífero identificada foram os efluentes domésticos oriundos dos esgotos sanitários e fossas sépticas.

No caso dos bairros do Paraíso e Caruara, a água utilizada para o abastecimento é proveniente de poços freáticos, e de acordo com Mesquita (2012), são utilizadas fossas rudimentares para o esgotamento sanitário dessas residências. Desse modo, apesar de a Baía do Marajó, na qual se localiza a ilha do Mosqueiro ser área estuarina (CORRÊA, 2005), e conseqüentemente sofrer influências oceânicas, a forma pela qual se distribuem as concentrações de cloreto, evidenciam que nos bairros do Paraíso e Caruara, a chuva pode ter facilitado o processo de infiltração dos esgotos provenientes das fossas rudimentares das residências nos aquíferos, contribuindo dessa forma, para a diminuição da qualidade da água nesses bairros.

## 5.6 IRQ

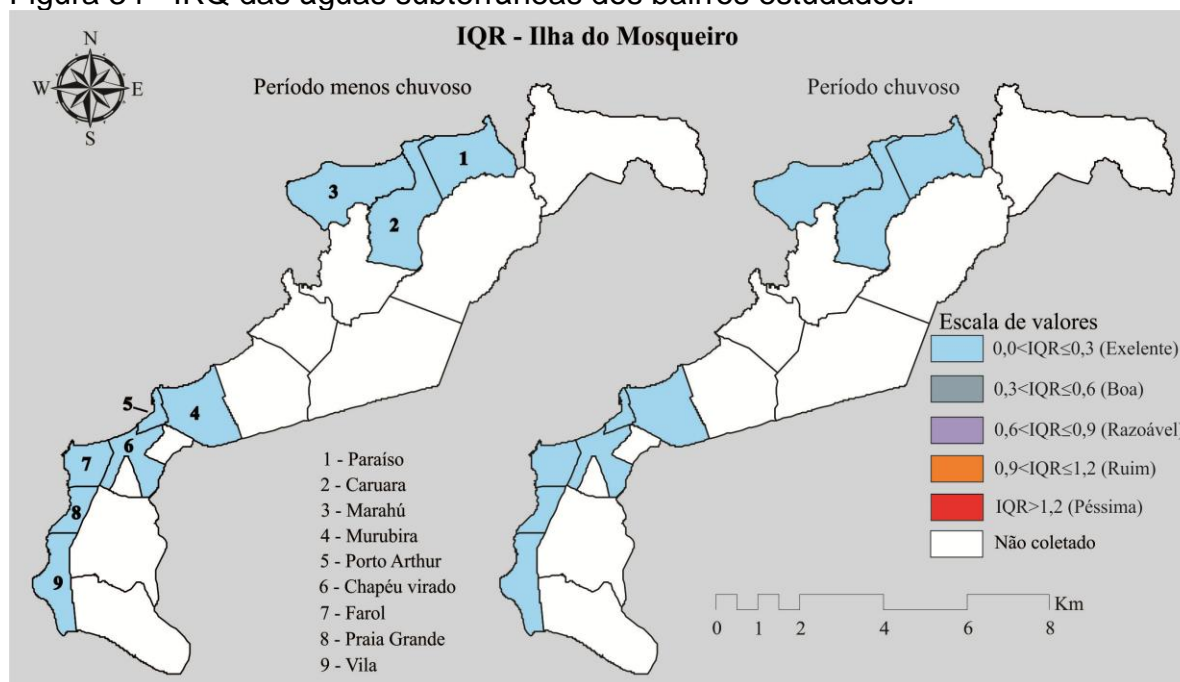
Considerando que os valores do IRQ crescem com a diminuição da qualidade da água, na aplicação desse índice, foi observada, assim como no IQNAS e IQAS, que os três bairros menos populosos da ilha, no caso Paraíso, Marahú e Caruara apresentaram valores de IRQ inferiores em relação aos bairros mais populosos, sendo que a variabilidade dos dados foi menos acentuada nesse índice se comparado aos outros. Essa característica pode ser observada nas colunas do Gráfico 3.

Gráfico 3 – Variação dos valores IRQ nos bairros da ilha do Mosqueiro.



Apesar da variabilidade existente nos valores do IRQ, seus intervalos de classificação, propostos por Fernandes e Loureiro (2006) podem ser considerados relativamente extensos, já que nesse índice, todos os bairros da ilha do Mosqueiro apresentaram excelente qualidade, como pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 - IRQ das águas subterrâneas dos bairros estudados.





A faixa de classificação da água utilizada na aplicação do IRQ (excelente, boa, razoável, ruim ou péssima) pode explicar a característica de índice pouco restritivo citada por Coutinho *et al.* (2013).

Na análise também pode ser observado que a variabilidade nos resultados do IRQ se aproximou do IQAS em virtude da maior influência do cloreto, que juntamente com o nitrato, foram parâmetros comuns nos cálculos desses índices, que adotaram igualmente nesta pesquisa, os valores de referência da portaria nº 2914 do Ministério da Saúde. Como o IQNAS se baseia exclusivamente nos critérios de peso e considera maior quantidade de parâmetros em seu cálculo, mostrando-se um índice mais segregativo, a variabilidade de seus resultados nesta pesquisa foi mais acentuada.

Outro fator importante a ser observado é que os parâmetros utilizados no cálculo do IQNAS, IQAS e IRQ, atendem os padrões da portaria nº 2914 do Ministério da Saúde (MESQUITA, 2012). No entanto, sua utilização nos índices gerou resultados de água de baixa qualidade. Esse fator evidencia a importância dos índices como ferramentas complementares de análise, a fim de se obter resultados mais consistentes nos laudos de qualidade da água.

## 6 CONCLUSÃO

A baixa qualidade da água subterrânea observada na maior parte dos bairros estudados na ilha do Mosqueiro se mostrou visualmente compatível com a urbanização da área. As concentrações dos parâmetros de qualidade da água subterrânea utilizados nos Índices sugerem influência antrópica, no entanto, a falta de informações sobre a ilha tem impedido a aplicação de técnicas estatísticas que possam determinar a intensidade dessas influências.

De todo modo, para a finalidade original de aplicação, os resultados do IQAS e IQNAS foram satisfatórios e apresentaram variabilidade, em contraste com o IRQ, que apesar da variabilidade nos valores, indicou excelente qualidade na água subterrânea em todos os bairros estudados na ilha, evidenciando a característica de índice pouco restritivo já comentada por outros autores. Para este índice, é sugerida uma reavaliação da escala de classificação da água.

Com relação ao abastecimento de água e esgotamento sanitário, estes não têm sido realizados de modo satisfatório. Vários bairros não são contemplados com esses sistemas, e os que estão, os sistemas não operam, restando aos moradores a perfuração de poços tubulares rasos ou escavação de poços do tipo amazonas, e o lançamento dos esgotos em fossas rudimentares. A soma desses fatores resulta nos baixos índices de qualidade da água observados.

O sistema de coleta de resíduos sólidos tem se mostrado satisfatório, não apresentando riscos à qualidade da água subterrânea dessa ilha.

## 7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. S. OLIVEIRA, I. B. Índice de qualidade da água subterrânea bruta (IQASB) utilizada na produção de água potável. **Revista Águas Subterrâneas**. v.24, p. 31-45, 2010.

AMORIM, H. J. C. A. L.; LOPES, M. B. L.; OLIVEIRA, R. K. S.; NOBRE, R.C.M.N. **Mapeamento da qualidade das águas subterrâneas em Maceió – AL**. XIX simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió (2011).

ANDRADE, T. S. **Variabilidade espacial e temporal de atributos hidrológicos para gerenciamento de recursos hídricos em aluvião no semiárido sob uso agrícola**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010. Orientação de Suzana Maria Gico Lima Montenegro.

AZEVEDO, R. P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. **Acta Amazônica**. v. 36, n.3, p. 313 – 320, 2006.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, M. K. ; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A.F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Revista Ambiente Guarapuava**. v.4, n.1, p.131-149, Janeiro/Abril. 2008.

BELÉM. **Anuário Estatístico do Município de Belém 2011**. v. 16. Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão, 2012. Disponível em <[http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO\\_2011/ANUARIO%202011%20COMPLETO.pdf](http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/ANUARIO%202011%20COMPLETO.pdf)>. Acesso em: 15 Dez. 2014.

BELÉM. **Relatório da consulta e Audiência Pública referente ao Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém-Pará e a minuta do contrato de programa que será firmado entre a Prefeitura Municipal de Belém e a Companhia de Saneamento do Pará-COSANPA**. Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém – AMAE/BELÉM, 2014a. Disponível em: <[http://ww3.belem.pa.gov.br/www/?page\\_id=22501](http://ww3.belem.pa.gov.br/www/?page_id=22501)>. Acesso em: 16 Dez. 2014.

BELÉM. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/politica/4027128/duciomarcosta-inaugura-novosreservatorios-de-agua-em-mosqueiro-pa>>. Acesso em 04 Dez. 2013.

BELÉM. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém – Pará: Concepção Técnica e Proposições**, 1 v. Belém: Prefeitura Municipal. 183 p, 2014b. Disponível em: <[http://ww3.belem.pa.gov.br/www/?page\\_id=22501](http://ww3.belem.pa.gov.br/www/?page_id=22501)>. Acesso em: 12 Dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água

para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília. 14 de dezembro. 2011.

CAPP, N.; AYACH, L. R.; SANTOS, T. M. B. S.; GUIMARÃES, S. T. L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). **Geografia Ensino & Pesquisa**. v. 16, n. 3, 2012.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). 2015. Disponível em: <<http://www.siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em 12, Jan. 2015.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINEIRAS. **Sistema Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)**. 2015. Disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>. Acesso em 19 out. 2014.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil em Ambiente SIG**. 2007. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa\\_be.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_be.pdf)>. Acesso em: 12 Dez. 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém**: Diagnóstico dos Sistemas de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém, 2 v./ José Almir Rodrigues Pereira, Coordenador. \_\_ Belém, Universidade Federal do Pará. Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento, Companhia de Saneamento do Pará. 285 p, 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Belém**: Análise dos Sistemas Existentes de Esgoto, Água e Drenagem Urbana da RMB - Relatório Técnico 1. José Almir Rodrigues Pereira, Coordenador. \_\_ Belém, Universidade Federal do Pará. Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento, Companhia de Saneamento do Pará. 91 p, 2007.

CORRÊA, I. C. S. Aplicação do Diagrama de Pjrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó – PA. **Pesquisa em Geociências**. p.109 – 118, Junho. 2005.

COSTA, J. M.; PIETROBOM, M. R. Pteridófitas (*Lycophyta* e *Monilophyta*) da Ilha de Mosqueiro, município de Belém, estado do Pará, Brasil. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**. Belém. v. 2, n. 3, p. 45-55, setembro/dezembro. 2007.

COUTINHO, J. V.; ALMEIDA, C. N.;GADELHA, C. L. M.; TARGINO, D.F.; LINHARES, F. M.; COELHO, V.H. R. . Avaliação Integrada da Qualidade da Água Subterrânea em uma Bacia Hidrográfica Representativa do Litoral da Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, n.4, p.197-212,outubro/dezembro. 2013.

DEMÉTRIO, J. G. A.; PAIVA, A. L. R.; FREITAS, D. A.; BATISTA, A. G. S.; CABRAL, J. J. S. P. Características hidrogeológicas das Aluviões do Rio Beberibe na área da

bateria de poços no bairro de caixa d'água, Olinda-PE. **Revista Brasileira de Águas Subterrâneas**. v. 27, p. 111-126, dezembro, 2013.

FERNANDES, R. A; LOUREIRO, C. O. **Índice relativo de qualidade (IRQ):** um método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2006, Curitiba. Editora: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 2006, 14p.

FERREIRA, H. L. D. **Expansão urbana e periferização em áreas de interesse turístico: o caso da ilha do Mosqueiro (Belém – Pará)**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano da Universidade da Amazônia, Belém, 2010. Orientação de Marco Aurélio Arbage Lobo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1378&z=t&o=25&i=P>>. Data do acesso: 7 nov. 2013.

MASCARENHAS, B. M.; GUIMARÃES, M. S.; PINTO, C. S.; GOMES NETO, H. A.; PEREIRA, J. D. B.. Estudo de anofelinos antropofílicos peridomiciliares da Praia da Saudade na Ilha de Cotijuba: uma área endêmica de malária em Belém, Pará. **Acta Amazonica**. v. 39(2), p 453 – 458. 2009.

MATTA, M. A. S. Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. Orientação de Aldo da Cunha Rebouças.

MELLOUL, A. J.; COLLIN, M. A proposed index for aquifer waterquality assessment: the case of Israel's Sharon region. **Journal of Environmental Management**. v.54, p. 131–142, March.1998.

MESQUITA, K. F. **Qualidade da água de consumo da Ilha do Mosqueiro/PA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, Belém, 2012. Orientação de Maria de Lourdes Souza Santos.

NASCIMENTO, S.; BARBOSA, J. Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de Salvador, Bacia do rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**. v.35, n 4, p.543-550, Dezembro. 2005.

NEIRA, D. F.; TERRA, V. R; SANTOS, R. P.; BARBIÉRI, R. S. Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil. **Natureza Online**. v.6, p 36-41, 2008.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. N.; SILVA, A.G.L.S. Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. **Revista Águas Subterrâneas**. v.21, n.1, p.123-137, 2007.

PALHETA, E. S. M. **Estudo da compartimentalização e arcabouço neotectônico da Ilha do Mosqueiro – Pará empregado na prospecção hídrica Subterrânea**. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. Orientação de Francisco de Assis Matos de Abreu.

ROCHA, A. G. L.; ROCHA, A. L. R.; SOUZA, R. S.; FORTUNA, J. L. Avaliação microbiológica da água de poços rasos próximos a um córrego. **Revista Ciências do Ambiente**. v. 7, p. 28-54, julho. 2011.

SANTOS, J.M.M. **Índice de qualidade de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos com uso agrícola: bacia do rio são domingos – RJ**. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Orientação de Gerson Cardoso da Silva Junior e Rachel Bardy Prado.

SANTOS, Yeda Queiroz Costa do. **Educação Ambiental: uma forma de olhar a comunidade tradicional sucujuba na Ilha de Mosqueiro**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação Ambiental) – Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM. **Relatório dos Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. Belém, 2014.

STIGTER, T. Y.; RIBEIRO, L.; CARVALHO DILL, A.M.M. Application of a groundwater quality index as na assessment and communication tool in agro-environmental policies – Two Portuguese case studies. **Journal of Hydrology**. v. 327, p. 578 – 591, August. 2006.

VARGAS, T C.; VARGAS, I; BADILA, E. Propriedades hidrogeoquímicas e isotópicas del agua subterrânea em la parte media de la cuenca del río Tulián, Puerto Cortés, Honduras. **Revista Geológica de América Central**. v. 46, p.179-188, Junho. 2012.

VASCONCELOS, V. M. M. V.; SOUZA, C. F. Cacterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 6, n. 2, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Protecting groundwater for health – Managing the quality fo drinking water sources**. p. 1-155, 2006.