



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS DE DOIS MUNICÍPIOS PARAENSES: SUBSÍDIOS À  
GESTÃO HÍDRICA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

**LUCAS CRUZ OLIVEIRA**

**BELÉM  
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS DE DOIS MUNICÍPIOS PARAENSES: SUBSÍDIOS À  
GESTÃO HÍDRICA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

**LUCAS CRUZ OLIVEIRA**

**Orientador: Prof. Dra. Silvia Keiko Kawakami (UFPA)**

---

**BELÉM**  
**2018**

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

---

- O48a Oliveira, Lucas Cruz  
Avaliação Preliminar da Qualidade das Águas Subterrâneas de Dois Municípios Paraenses: Subsídios à Gestão Hídrica na Região Metropolitana de Belém / Lucas Cruz Oliveira. - 2018.  
31 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Sílvia Keiko Kawakami
1. Água Subterrânea. 2. Nitrato. 3. Gestão Hídrica. 4. Parâmetros Físico-Químicos. 5. Composição Iônica. I. Kawakami, Sílvia Keiko, *orient.* II. Título

---

CDD 363.7394



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS DE DOIS MUNICÍPIOS PARAENSES: SUBSÍDIOS À  
GESTÃO HÍDRICA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

APRESENTADO POR:

LUCAS CRUZ OLIVEIRA

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia**

Data da Aprovação: 05/01/2018

Banca Examinadora:

---

Prof. Dra. Silvia Keiko Kawakami  
Orientadora - UFPA

---

Prof. Dra. Silvana do Socorro Veloso Sodré  
Membro - UFPA

---

Prof. Dr. Estanislau Luczynski  
Membro - UFPA

À minha mãe, inspiração de uma vida inteira.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Edilene e Carlos, por todo amor, força, e confiança, assim como por acreditarem e incentivarem meus sonhos, sempre vai ser para e por vocês.

A toda minha família pelo apoio ao longo da graduação e da vida, por me ensinarem a importância do respeito e da perseverança, em especial aos meus primos Allan, Caio, e Renan, pela amizade, companheirismo, e pelas risadas.

A minha orientadora, Prof. Dra. Silvia Keiko Kawakami, pelo conhecimento passado durante todo o curso, principalmente durante os dois anos no laboratório, sua formação foi uma inspiração.

A todo corpo docente de oceanografia, pelo conhecimento e experiências de vida transmitidas ao longo desses quatro anos de graduação, principalmente a professora Sury Monteiro, pelo incentivo durante as aulas, especialmente na matéria de metodologia, fazer slides nunca foi a mesma coisa desde então, serei eternamente grato.

A Viviane, por ter caminhado comigo nos últimos meses e me apoiado em todas as decisões que tomei, pelo carinho, compreensão, atenção, alegria, por vibrar com todas as minhas conquistas como se fossem suas, e por me escutar quando era mais difícil, o amparo e o amor foram essenciais.

Ao Alex por ter sido o melhor companheiro de quarto que eu poderia imaginar, por ter dividido comigo a experiência de morar sozinho, desde a saudade até a liberdade, sou grato por todas as conversas e risadas que nunca foram poucas.

Aos meus amigos Gabriel (Suicida) e Matheus, pelo apoio quando foi mais difícil, pelas visitas inesperadas, pelas brigas, pelas saídas, por tudo que é impossível descrever, vocês sempre vão ter um lugar especial na minha vida.

Aos meus amigos Ivson, Patrícia, Gabriel (Gabs), Herbert, e Artur, por todas as conversas e risadas. Por toda a turma de 2014, queria ter um espaço para escrever sobre cada um e como vocês possuem tremenda importância na construção de quem sou hoje, cada pedaço meu tem algo de vocês.

Agradeço de forma especial aos meus amigos João Pet, Yago, Matheus Jack, e Felps, por terem feito desses últimos quatro anos os melhores da minha vida, as viagens, os seminários, o garden e o morma, até a briga com o Matheus por ter corrompido o computador dele, por tudo desde o “prazer, eu sou o Lucas de Benevides”, espero que essa amizade seja eterna.

A todas as pessoas que passaram pela minha vida, por mais que rapidamente, fazendo parte da construção do que sou hoje. Todos os momentos foram importantes, e que grande parte de todas as amizades formadas nos quatro anos mais significativos da minha vida sejam eternos de alguma maneira.

## RESUMO

Nos municípios de Belém e Benevides, ambos inseridos na região metropolitana de Belém (RMB), a captação de água subterrânea para abastecimento é uma realidade, visto que as águas dos lagos Bologna e Água Preta são insuficientes para suprir a demanda da população, e demais possíveis fontes de águas superficiais encontram-se contaminadas por dejetos e esgotos. Este trabalho tem como objetivo a avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea nesses municípios, a partir das concentrações de íons dissolvidos e parâmetros físico-químicos. As amostras de água subterrânea, provenientes do aquífero Barreiras, foram coletadas de poços de cerca de 30 m de profundidade em Benevides (empresa Bela Água e em um sítio particular) e em Belém (residências dos bairros de São Braz e Guamá). Os parâmetros hidroquímicos pH, temperatura (T), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) foram mensurados in situ com analisador portátil. A composição aniônica (nitrato, fosfato, cloreto, fluoreto, sulfato) das águas foi determinada por cromatografia líquida com detecção por condutividade no Instituto de Geociências. As temperaturas variaram de 27,4 °C em Benevides à 28,9 °C em Belém. Observou-se caráter ácido das amostras (pH médio de  $4,55 \pm 0,77$ ), comum para as águas do sistema Barreiras. Os valores de STD e CE variaram, respectivamente, de 0,01 g/L à 0,31 g/L, e de 0,30 mS/cm a 0,64 mS/cm. A concentração dos íons nitrato, sulfato, cloreto e fluoreto (em mg/L) variaram, respectivamente, de: 2,66 à 49,5; 0,15 à 29,9; 2,60 à 152,91; e 0,02 à 0,63. O fosfato não foi detectado pelo método cromatográfico. De modo geral, as concentrações dos ânions foram mais elevadas em amostras de Belém, com exceção do íon fluoreto, que apresentou maior concentração em Benevides. Somente a concentração do nitrato atingiu valor superior ao permitido pela Resolução CONAMA 396/2008, no bairro do Guamá. Fatores como a ocupação urbana desordenada, a deficiência no sistema sanitário, a presença de cemitérios, dentre outros tornam esses poços rasos vulneráveis à contaminação, particularmente no bairro do Guamá.

Palavras-chave: Água Subterrânea. Nitrato. Gestão Hídrica. Parâmetros Físico-Químicos. Composição Iônica.

## ABSTRACT

In the counties of Belém and Benevides, both located in the metropolitan área of Belém (RMB), the captation of groundwater for water supply is a reality, since the waters of Bologna and Água Preta lakes are insufficient to supply the population's demand, and possible sources of surface water are contaminated by waste and sewage. This essay has the objective of preliminary evaluation of the quality of underground water in these counties, from the concentration of dissolved íons and physical-chemical parameters. The groundwater samples, proceeding from the aquifer Barreiras, were collected from wells of about 30 m depth in Benevides (Bela Água company and in a particular ranch) and in Belém (residencies in the neighbourhoods São Braz and Guamá). The hydrochemical parameters pH, temperature (T), electrical conductivity (EC), total dissolved solids (STD) were measured in situ with portable analyzer. The anionic composition (nitrate, phosphate, chloride, fluoride, sulfate) of the water was determined by liquid chromatography with conductivity detection in the Geosciences Institute. Temperatures ranged from 27.4 °C in Benevides to 28.9 ° C in Belém. It was observed an acid character of the samples (medium pH of  $4.55 \pm 0.77$ ), common for the waters of the Barreiras system. STD and CE values ranged from 0.01 g / L to 0.31 g / L, and from 0.30 mS / cm to 0.64 mS / cm, respectively. Nitrate, sulfate, chloride and fluoride íons concentrations oscilled respectively from: 2.66 to 49.5; 0.15 to 29.9; 2.60 to 152.91; and 0.02 to 0.63. Phosphate was not detected by the chromatographic method. In general, the concentrations of the anions were higher in samples from Belém, exceptionally with the fluoride ion, which showed higher concentration in Benevides. Only the nitrate concentration reached a value higher than allowed by the CONAMA Resolution 396/2008 in Guamá. Circumstances such as disorganized urban occupation, a disability in the health system, a presence of cemeteries, among others make these shallow wells vulnerable to contamination, particularly in the Guamá neighborhood.

Key-words: Underground Water; Nitrate; Water Management; Physical-Chemical Parameters; Ionic Composition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição de águas na Terra. ....	3
Figura 2 - O Ciclo Hidrológico. Estimativas dos principais reservatórios de água, dados em fonte simples em $10^3 \text{ km}^3$ , e o fluxo de humidade através do sistema, dado em fonte inclinada ( $10^3 \text{ km}^3$ por ano). ....	4
Figura 3 - Ciclo de contaminação de água em áreas urbanas. ....	5
Figura 4 - Mapa da localização da área de estudo demonstrando a Região Metropolitana de Belém os municípios onde foram realizadas as coletas. Ben1 correspondE a empresa Bela Água. Ben2 a um sítio particular localizado no município de Benevides. Bel1 ao prédio residencial no Bairro de São Brás. Ben2 a residência no Bairro do Guamá. ....	12
Figura 5 - Laboratório de Análise de Águas. ....	13
Figura 6 - Bomba coletora localizada em sítio particular no município de Santa Maria. Benevides. ....	14
Figura 7 - Condomínio Residencial Ilha de Capri. ....	15
Figura 8 - Residência bairro do Guamá. Quarto ponto amostral. ....	15
Figura 9 – A) Coleta no Laboratório de Águas subterrâneas da empresa Bela Água. B) Coleta por bombeamento em Sítio na Localidade de Santa Maria (Benevides). C) Coleta por bomba em edifício residencial no Bairro de São Brás. D) Coleta em residência no bairro do Guamá a partir de torneira ligada diretamente ao sistema subterrâneo. ....	16
Figura 10 - Cromatógrafo de íons Dionex DX-120. ....	17
Figura 11 - Cromatograma obtido de amostras de água subterrânea do município de Belém, com identificação dos principais ânions. ....	19
Figura 12 - Distribuição da concentração média de íons dissolvidos nas águas subterrâneas dos municípios de Belém e Benevides. Limite representa Valor Maximo Permitido para águas subterrâneas. Ben1 (Bela Água. Ben2 (Sítio). Bel1 (São Brás). Bel2 (Guamá). ....	20
Figura 13 - Mapa de localização do Cemitério Santa Izabel entre os ponto Bel1, localizado no bairro de São Brás, e Bel2, localizado no bairro do Guamá. ....	24

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Sistemas hidrogeológicos da região de Belém com suas profundidades e vazões....	7
Tabela 2 - Concentração dos parâmetros Físico-Químicos para as águas subterrâneas de Belém e Benevides. ....	18
Tabela 3 - Resumo estatístico dos íons dissolvidos em águas subterrâneas nos municípios de Belém e Benevides. nd* não detectado .....	19
Tabela 4 - Parâmetros Físico-químicos e ions dissolvidos para estudos na regio metropolitana de Belém e Medianeira (PR). ....	21

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. OBJETIVOS .....	2
1.1.1. Objetivo geral .....	2
1.1.2. Objetivos específicos .....	2
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	3
2.1. ESTOQUES DE ÁGUA E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	3
2.3. HIDROGEOLOGIA .....	6
2.4. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA .....	7
2.4.1. Parâmetros Físico-Químicos .....	8
2.4.1.1. Condutividade Elétrica .....	8
2.4.1.2. Temperatura .....	8
2.4.1.3. Sólidos Totais Dissolvidos .....	8
2.4.1.4. Potencial Hidrogênionico (pH) .....	9
2.4.2. Parâmetros Químicos .....	9
2.4.2.1. Nitrato .....	9
2.4.2.2. Cloreto .....	9
2.4.2.3. Sulfato .....	10
2.4.2.4. Fósforo .....	10
2.4.2.5. Flúoreto .....	10
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	12
3.1. ÁREA DE ESTUDO .....	12
3.1.1. Climatologia .....	12
3.1.2. Descrição Das Áreas De Coleta .....	13
3.2. COLETA DAS AMOSTRAS .....	16
3.3. ANÁLISES LABORATORIAIS .....	16
<b>4. RESULTADOS</b> .....	18
4.1. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....	18
4.2. ÍONS DISSOLVIDOS .....	18

<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	21
5.1. pH.....	21
5.2. CONDUTIVIDADE .....	22
5.3. SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS .....	22
5.4. FLUORETO.....	22
5.5. FOSFATO.....	23
5.6. CLORETO .....	23
5.7. SULFATO.....	24
5.8. NITRATO .....	24
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	26
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	27

## 1 INTRODUÇÃO

A conservação, proteção e manejo das águas subterrâneas são necessidades para a maioria das cidades do mundo (Shanahan 2009), e, embora sejam, geralmente, de boa qualidade, devido ao processo de filtração natural, tais águas podem apresentar risco de estarem poluídas de forma extensiva por águas residuárias e dejetos de origem humana ou animal (Tucci & Cabral 2003).

O aumento na utilização de águas subterrâneas como fonte de abastecimento é uma realidade mundial, grandes exemplos podem ser vistos na República das Honduras, onde 30% do abastecimento vem de poços, chegando a 100% em determinadas zonas (Vargas et al. 2012). No Mediterrâneo, mananciais subterrâneos são utilizados em larga escala para irrigação, e em países como Índia, China, Bangladesh, Tailândia, Indonésia e Vietnã, fontes subterrâneas são responsáveis por 50% do abastecimento de água potável (Vargas et al. 2012. Latinopoulos et al. 2011. World Health Organization 2006).

Entre os parâmetros utilizados para a medição da qualidade da água podem ser citados: pH, alcalinidade, dureza, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos (suspensos, dissolvidos), nitrogênio e outros nutrientes, metais pesados, poluentes orgânicos e parâmetros bacteriológicos (CETESB 2006). A análise destes parâmetros é relevante para determinar o planejamento e a operação das instalações de tratamento das águas (Vesilind et al 2013).

Nos municípios de Belém e Benevides, ambos inseridos na região metropolitana de Belém (RMB), a captação de água subterrânea para abastecimento é uma realidade, visto que as águas dos lagos Bologna e Água Preta são insuficientes para suprir a demanda da população. As demais possíveis fontes de águas superficiais encontram-se contaminadas por dejetos e esgotos que são jogados nos mesmos e no solo (ANA 2010. Matta 2002).

A falta de informações sobre a qualidade das águas aumenta a incerteza nas tomadas de decisões, acarretando resultados negativos no uso e aproveitamento dos recursos hídricos, podendo comprometer a saúde da população. Este trabalho tem como objetivo a avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea nos municípios de Belém e Benevides, a partir das concentrações de parâmetros químicos e físico-químicos, a fim de contribuir com subsídios a gestão hídrica da região.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade das águas subterrâneas, através da concentração de íons dissolvidos (nitrato, sulfato, fosfato, cloreto, fluoreto) e parâmetros físico-químicos (pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos) nos municípios de Belém e Benevides a fim de proporcionar subsídios à gestão hídrica da região.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Avaliar as concentrações de ânions (nitrato, fosfato, cloreto, sulfato, fluoreto) em amostras de águas subterrâneas de Belém e Benevides.

Avaliar as características físico-químicas das amostras de águas subterrâneas de Belém e Benevides.

Comparar os dados obtidos com os da literatura e valores de referência para qualidade das águas segundo Resolução CONAMA 396/2008 para águas subterrâneas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ESTOQUES DE ÁGUA E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A água, substância essencial para garantia da vida nos ecossistemas, é um dos constituintes básicos que compõem o Planeta Terra, cobrindo 77% da sua superfície. Esse volume encontra-se distribuído nos diferentes reservatórios de água da Terra (Figura 1), onde 97,5% referem-se aos oceanos e mares e somente 2,5% são de água doce. A maior parcela dessa água doce, 68,9%, formam as calotas polares, as geleiras e neves eternas que cobrem os cumes das montanhas mais altas da terra. Dos percentuais restantes, 29,9% constituem as águas subterrâneas doces, estando aí incluída a umidade dos solos, cerca de 0,9% representam as águas do pântano e apenas 0,3% compõem as águas dos rios e lagos, parcela mais facilmente aproveitada para atender as demandas e necessidades sociais e econômicas da humanidade nos diferentes usos (Shiklomanov 1990).

O ciclo hidrológico é o princípio unificador fundamental de tudo o que se refere a água no planeta. O ciclo é o que representa a interdependência e o movimento contínuo da água nas fases sólida, líquida e gasosa. Toda a água do planeta está em contínuo movimento cíclico entre as reservas sólida, líquida e gasosa. Evidentemente, a fase de maior interesse é a líquida, que é fundamental para o uso e para satisfazer as necessidades do homem e de todos os outros organismos, animais e vegetais (Tundisi 2008)

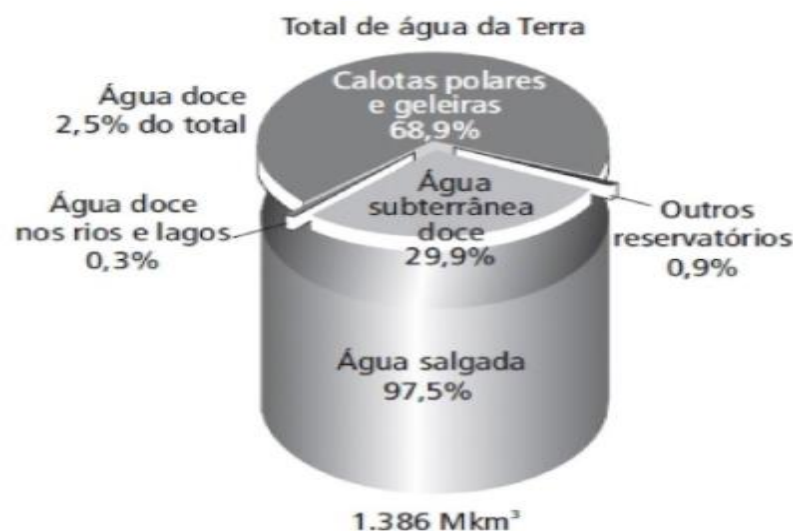


Figura 1 - Distribuição de águas na Terra.

Fonte: Tundisi (2008).

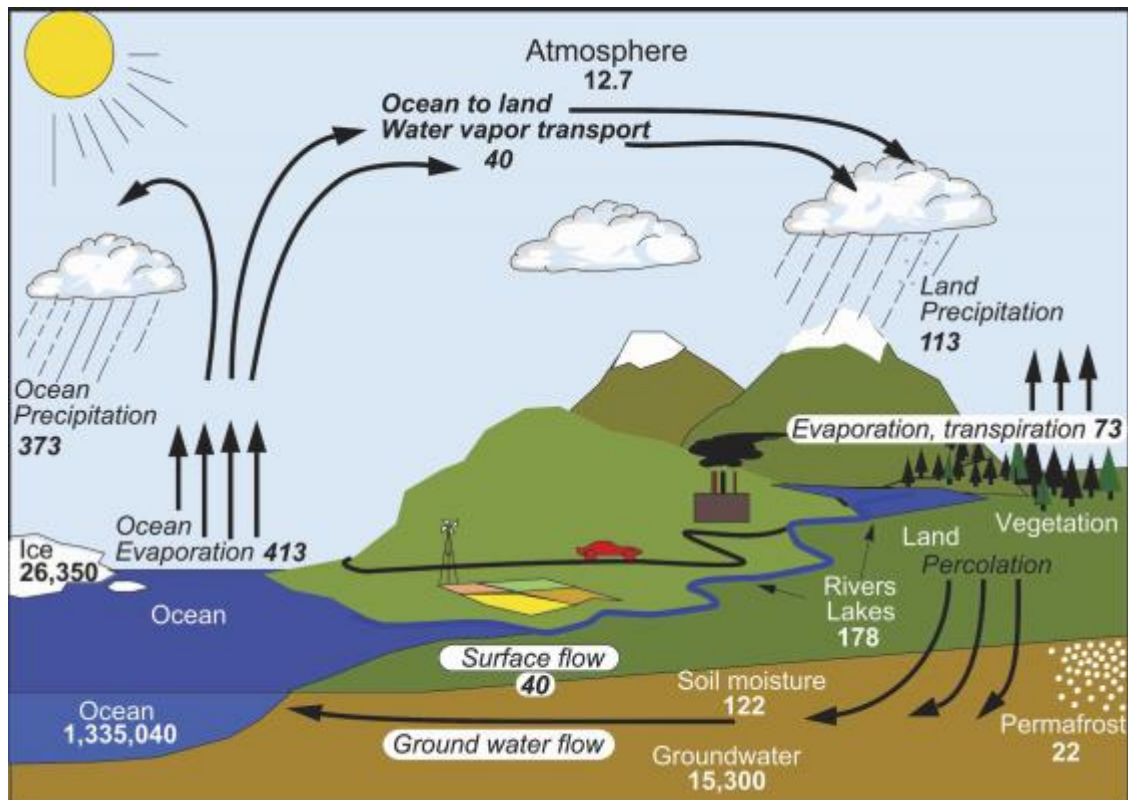


Figura 2 - O Ciclo Hidrológico. Estimativas dos principais reservatórios de água, dados em fonte simples em  $10^3 \text{ km}^3$ , e o fluxo de humidade através do sistema, dado em fonte inclinada ( $10^3 \text{ km}^3$  por ano).

Fonte: Trenberth (2006).

Deve-se lembrar que a disponibilidade de água está correlacionada à velocidade que uma determinada fonte de água se renova através dos processos do ciclo hidrológico (Matta 2002). O tempo de residência das águas em cada estágio do ciclo varia bastante. Nos rios o tempo médio é de cerca de 18 à 20 dias, enquanto na atmosfera a água é substituída a cada 12 dias. As águas subterrâneas profundas precisam de várias centenas de anos, ou mais, para se renovar (Rebouças 1994)

Rebouças (1999) pondera que todo esse processo de renovação das águas é caracterizado por um fluxo permanente de energia e de matéria, ligando-se ao ciclo das águas, das rochas e da vida. Para ele a compreensão sistêmica dos processos cíclicos de energia e matéria na natureza, em geral, e das águas da terra, em particular, constitui um dos grandes desafios das ciências hidrológicas e ambientais neste século.

As águas subterrâneas assumem um papel importantíssimo nos processos de gestão integrada de recursos hídricos. Segundo Magrini & Santos (2001) com a promulgação da Lei das Águas em 2000, foram introduzidas mudanças radicais na concepção da gestão

ambiental e nos instrumentos tradicionalmente aplicados por esta lei, importantes ações foram tomadas, como o plano de recursos hídricos e o enquadramento dos corpos d'água, que respondem pela gestão quantitativa e qualitativa da água. Tais instrumentos fortalecem a relação entre a gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente e preconiza a formulação de metas de qualidade para águas subterrâneas.

## 2.2 MANANCIAIS URBANOS E DETERIORAÇÃO DA QUALIDADE DAS AGUAS

À medida que o desenvolvimento urbano avança, dois fatos conflitantes se destacam: o crescimento da demanda de água com qualidade, e a degradação de mananciais por contaminação de resíduos urbanos e industriais. A tendência do desenvolvimento urbano é o de contaminar a rede de escoamento superficial com despejos de esgotos cloacais e pluviais, como representado na Figura 3, o que inviabiliza o manancial e exige novos projetos de captação de áreas mais distantes, não contaminadas, ou o uso de tratamento de água e esgoto mais intensivo, que envolve custos maiores (Tucci 2006).

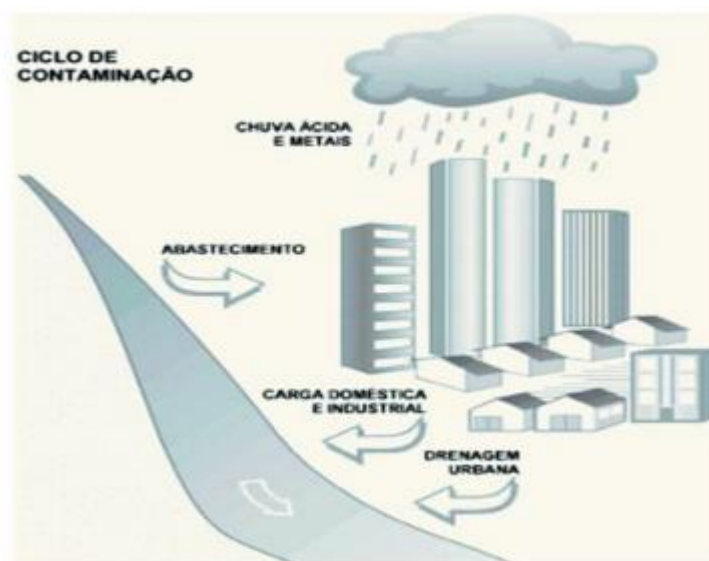


Figura 3 - Ciclo de contaminação de água em áreas urbanas.

Fonte: Tucci & Bertoni (2003)

Nos últimos anos as cidades vêm passando por transformações em todo o seu espaço devido ao grande crescimento populacional. O Brasil apresentou ao longo das últimas décadas um crescimento significativo da população urbana, que tem sido concentrado em regiões metropolitanas, na capital dos estados e cidades polos regionais. Os efeitos desse

processo, faz-se sentir sobre todo o aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacal e pluvial (Tucci 1997).

Segundo Rebouças (1999), o Brasil possui, na maior parte do seu território, abundantes chuvas, com índices pluviométricos entre 1000 e 3000 mm/ano, que acarretaram na existência da maior descarga de água doce do planeta, distribuída numa rede perene das mais densas e extensas. A produção hídrica do país, somada a parte referente à Amazônia Internacional, representa cerca de 53% da produção de água doce do continente Sul Americano e 12% do total mundial (Rebouças 1999).

A Bacia Amazônica engloba os estados do Amazonas, Acre, Amapá, Roraima, Rondônia, Mato Grosso e Pará, e responde por 20% da água doce do planeta (Joetzjer et al. 2013). Em contraste, as populações da maioria das cidades da região norte sofrem com problema de água potável, em abundância e qualidade desejáveis. Fator relacionado, como no restante do país, a um crescimento exagerado das demandas em geral, e de forma localizada, a uma degradação dos mananciais em níveis nunca imaginados, e, mais importante, a falta de gestão adequada, que busque uso cada vez mais eficiente, e menor degradação da qualidade das águas (Matta 2002).

A deterioração da qualidade da água por falta de tratamento dos efluentes tem criado potenciais riscos ao abastecimento da população em vários cenários, e o mais crítico tem sido a ocupação das áreas de contribuição de reservatórios, abastecimento urbano que podem produzir riscos à saúde da população (Tucci 2008).

Segundo Matta (2002), a situação dos recursos hídricos em Belém não difere do padrão encontrado no restante do país, o crescimento desordenado da região metropolitana em geral, que inclui a cidade de Benevides, e da cidade de Belém, em particular, vem ocasionando uma aceleração dos processos de degradação dos recursos ambientais, principalmente das águas.

De acordo com Rodrigues (2005), a pressão das atividades antrópicas no processo de urbanização da Amazônia nas últimas três décadas exerceu grande impacto na RMB, principalmente nas baixadas, ou seja, nas áreas de várzeas das microbacias hidrográficas que irrigam a cidade.

### 2.3 HIDROGEOLOGIA

Segundo Matta (2002), os sistemas hidrogeológicos da região de Belém incluem aquícludes, aquíntardes e aquíferos, pertencentes às unidades estratigráficas Pirabas, Barreiras e cobertura quaternária. Esses sistemas estão razoavelmente estudados até a profundidade em torno de 280 m.

Dessa forma é possível caracterizar os sistemas hidrogeológicos em cinco conjuntos principais, denominados: Aluviões; Pós-Barreiras; Barreiras; Pirabas Superior e Pirabas Inferior.

Tabela 1 - Sistemas hidrogeológicos da região de Belém com suas profundidades e vazões.

Fonte: Matta (2002).

Sistemas Hidrogeológicos	Profundidade de Ocorrência (m)	Vazões (m <sup>3</sup> /h)
Aluviões	< 0	~ 10
Pós-Barreiras	0 à 25	~ 5
Barreiras	25 à 90	10 à 70
Pirabas Superior	70 à 180	100 à 200
Pirabas Inferior	< 180 metros	Até 600

## 2.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

As características da qualidade das águas derivam dos ambientes naturais e antrópicos onde se originam, circulam, percolam ou ficam estocadas (Rebouças et al 1999). Para uma interpretação ecológica da qualidade das águas superficiais e/ou para estabelecer um sistema de monitoramento, é necessário a utilização de métodos simples e que dêem informações objetivas e interpretáveis, partindo para critérios próprios que considerem as características peculiares dos recursos hídricos (Pineda e Schäfer 1987).

A Resolução CONAMA 396/2008, ao considerar a necessidade de se promover a proteção da qualidade das águas subterrâneas, uma vez que poluídas ou contaminadas, sua remediação é lenta e onerosa, dispõe no artigo XIV sobre limites máximos permitidos, adotados como requisitos normativos de um parâmetro de qualidade de água, estabelecidos com base nos valores de referência de qualidade e nos valores máximos permitidos para cada um dos usos preponderante, sendo estes: consumo humano, recreação, irrigação, e dessedentação de animais. Dentre os parâmetros utilizados estão dados de pH, sólidos

totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica (CE), temperatura e de íons dissolvidos no meio aquático, que são relativamente simples e rápidos de serem mensurados, sendo essenciais para o melhor entendimento a cerca do corpo estudado. Por isso são utilizados dados de pH, sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica (CE), temperatura e de íons dissolvidos no meio aquático, que são relativamente simples e rápidos de serem mensurados. sendo essenciais para o melhor entendimento a cerca do corpo estudado.

## **2.4.1 Parâmetros Físico-Químicos**

### **2.4.1.1 Condutividade Elétrica**

A condutividade é a capacidade do líquido em conduzir corrente elétrica, e tem relação com outros parâmetros analíticos, como a salinidade e os sólidos totais dissolvidos. A medida de condutividade pode indicar indiretamente a presença de poluição ou desequilíbrio no corpo hídrico, pois na composição dos efluentes podemos encontrar íons em solução (Brito 2008).

### **2.4.1.2 Temperatura**

A medida do estado térmico da amostra é um parâmetro muito importante, pois seus efeitos interferem nas reações químicas que ocorrem na água, nas taxas de reação e na vida aquática. O aumento da temperatura acelera as reações químicas, reduz a solubilidade dos gases, aumenta a solubilidade dos sais, acentuam o odor, dentre outras (Braga et al. 2005).

### **2.4.1.3 Sólidos Totais Dissolvidos**

O teor de sólidos totais dissolvidos (STD) é um índice da quantidade de substâncias dissolvidas na água e está diretamente relacionado com a condutividade elétrica. Fornecem uma boa indicação da composição das águas, especialmente na sua concentração mineral, porém não indica as quantidades relativas dos vários componentes. Altos valores de condutividade elétrica podem indicar características corrosivas da água, o que pode ser decorrente de lançamentos de despejos industriais e esgotos domésticos (Nascimento 1995).

A principal aplicação da determinação do STD é de qualidade estética da água potável, e como um indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes. As fontes primárias de STD em águas receptoras são agrícolas e residenciais, lixiviação de solos contaminados e fontes pontuais de descarga de poluição das águas industriais ou estações de tratamento de esgoto. As substâncias dissolvidas podem ser íons orgânicos e

íons inorgânicos (como o carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio e sódio) que em concentrações elevadas podem ser prejudiciais (Pereira et al, 2011).

#### **2.4.1.4 Potencial Hidrogênionico (pH)**

O pH é formado pela presença dos sólidos e gases dissolvidos no meio hídrico oriundos da dissolução de rochas, absorção e emissão de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese e, em especial, dos efluentes de origem antrópica. É a medida da concentração de hidrogênios livres nas águas naturais, podendo variar seu valor de zero a quatorze, indicando uma água ácida quando abaixo de sete e alcalina acima de sete. Na faixa de sete é considerada neutra (Lima 2001). Em termos sanitários, somente em águas extremamente ácidas ou básicas poderiam causar algum tipo de irritação na pele e nos olhos (Luz Netto et al. 2011).

### **2.4.2 Parâmetros Químicos**

#### **2.4.2.1 Nitrato**

De acordo com Luz Netto et al. (2011), o nitrogênio é encontrado em diversos estados nos corpos d'água, sendo eles, o nitrogênio orgânico, o nitrogênio molecular, amoniacal, nitrito e nitrato gerados por ações naturais ou por ação antrópica pelo uso de fertilizantes, excrementos de animais e despejos domésticos e industriais. O nitrato está presente nas águas de superfície e residuais.

O íon nitrato representa o produto final da mineralização da matéria orgânica nitrogenada, por via aeróbia. Toda água apresenta traços de nitrato, que pode ser acrescida devido à poluição de matéria orgânica, ou devido à aplicação excessiva de fertilizantes. Os nitratos presentes na água em quantidade maiores provocam em crianças o estado mórbido denominado cianose ou metaemoglobinemia. Concentrações de nitrato superiores a 5 mg/L indicam uma alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica sobre a qualidade das águas subterrâneas. Assim, essa concentração foi adotada como um valor de alerta. (Braile e Cavalcanti 1993).

#### **2.4.2.2 Cloreto**

Presente na maioria das águas naturais, o íon cloreto é proveniente da lixiviação de minerais, e mais recentemente, devido a influencia antropogênica, superficiais descargas de esgotos sanitários dentre outras fontes contaminantes tem sido identificadas como importantes fontes de cloreto para as águas superficiais, sendo este íon um bom indicador para poluição oriunda de aterros sanitários e lixões (Feitosa & Filho 1997).

Nas águas tratadas a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água. A concentração de cloreto em águas de abastecimento público constitui um padrão de aceitação, já que provoca sabor “salgado” na água (CETESB 2006).

#### **2.4.2.3 Sulfato**

O enxofre ocorre principalmente em gases magmáticos. A maior parte do elemento nas rochas ocorre em minerais como o gipso ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ). Consideráveis quantidades de sulfato são adicionadas ao ciclo hidrológico com as precipitações da atmosfera. Vêm dos aerossóis marinhos, da poeira dos continentes e da oxidação de  $\text{H}_2\text{S}$ , como das substâncias orgânicas do solo. Nas águas subterrâneas circulantes em rochas ígneas, a concentração de sulfato é baixa (Celligoi 1999).

#### **2.4.2.4 Fósforo**

O fósforo é um elemento essencial para o desenvolvimento de algas e outros organismos biológicos (Metcalf Eddy 2003). Segundo Libânio (2008), em águas, o fósforo pode ser encontrados nas formas orgânica, inorgânica, solúvel ou particulada. Em águas subterrâneas não poluídas, as concentrações de fósforo são geralmente baixas, porém, atividades antropogênicas podem ser fontes consideráveis de fósforo, como: esgotos sanitários, detergentes, dentre outros, alterando seu estado trófico, podendo ser responsável pela contaminação do mesmo (Fineza 2008).

#### **2.4.2.5 Flureto**

O Fluoreto constitui aproximadamente 0,03% da crosta terrestre, é a forma iônica do flúor, elemento membro do grupo dos halogênios, porém, não volátil, com propriedades físicas e químicas divergentes das propriedades típicas deste grupo (Netto et al 2006). Seu conteúdo tanto em rochas sedimentares quanto na hidrosfera, pode ser derivado do intemperismo de rochas ígneas e magmáticas, sendo assim, os processos intempéricos são

amplamente responsáveis pela ocorrência de flúor na hidrosfera e asseguram sua contínua precipitação para os sedimentos. (Fraga 1992).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo contempla a região metropolitana de Belém, e inclui os municípios de Belém, situado entre as coordenadas 1° 27' 21'' S e 48° 30' 15'' W, e Benevides, que está situado entre 01° 21' 41'' S e 48° 14' 41'' W, (Figura 4). Em conjunto, os municípios possuem população de aproximadamente, 1.513.265 habitantes (IBGE 2017).

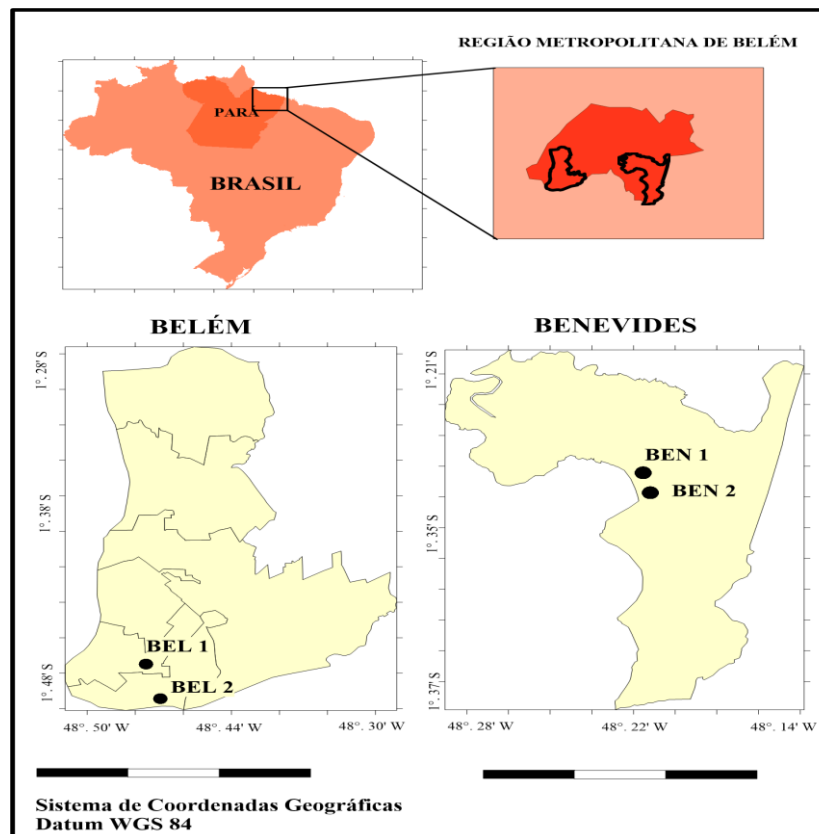


Figura 4 - Mapa da localização da área de estudo demonstrando a Região Metropolitana de Belém os municípios onde foram realizadas as coletas. Ben1 corresponde a empresa Bela Água. Ben2 a um sítio particular localizado no município de Benevides. Bel1 ao prédio residencial no Bairro de São Brás. Bel2 a residência no Bairro do Guamá.

#### 3.1.1 Climatologia

A região Amazônica, segundo estudos, é caracterizada pela ocorrência de grandes quantidades de chuvas, devido processos naturais convectivos originados por sistemas de grande escala, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), além de forçantes climáticas como o El Niño e La Niña (Lucas et al. 2010).

Pela classificação de Köppen, Belém enquadra-se na categoria climática “equatorial úmido” do tipo Af, (Matta 2002) cujas características principais são:

A = clima tropical chuvoso, onde a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C.

f = chuvas abundantes durante todo o ano, com totais pluviométricos mensais iguais ou superiores a 60 mm, condicionado ao tipo de vegetação conhecida como Floresta Tropical.

As principais características do clima da região metropolitana são: altas temperaturas, com média de 27,10 °C, ventos de baixa velocidade intercalados com freqüentes momentos de calmaria, altos índices de umidade relativa do ar, e precipitação abundante (Oliveira 2002).

### 3.1.2 Descrição Das Áreas De Coleta

As amostragens de água subterrânea foram realizadas nos municípios de Belém e Benevides, no dia 2 de janeiro de 2018.

No município de Benevides as amostragens foram realizadas em poços de aproximadamente 30 metros de profundidade. A primeira coleta, realizada as 11:20 h da manhã, ocorreu diretamente no laboratório de análises de água da empresa Bela Água (Figura 5), situada nas coordenadas 1°19'41''S e 48°17'23''W. A empresa realiza atividades a seis anos no município. A captação da água subterrânea é feita por meio de bombas distribuídas em três poços, sendo a amostragem realizada no primeiro poço utilizado pela empresa (Figura 9A).



Figura 5 - Laboratório de Análise de Águas

A segunda amostragem no município de Benevides foi realizada no sítio pertencente a uma família local, 20 minutos após a primeira coleta, no bairro de Santa Maria, situado entre as coordenadas  $1^{\circ}20'24''S$  e  $48^{\circ}17'24''W$ . A perfuração do poço data cerca de 30 anos, e possui aproximadamente 30 metros de profundidade. A coleta foi realizada diretamente da bomba que realiza a extração da água subterrânea (figura 6 e Figura 9B).



Figura 6 - Bomba coletora localizada em sítio particular no município de Santa Maria. Benevides.

A terceira amostragem foi realizada no município de Belém no prédio residencial Ilha de Capri (Figura 7), localizado entre os bairros de São Brás e Nazaré, situado nas coordenadas  $1^{\circ}27'05''S$  e  $48^{\circ}28'16''W$ , no centro da cidade, por volta de 12:50 h. O edifício realiza captação de água advinda de poços artesianos para utilização das atividades dos moradores, a água captada passa por tratamento, porém a coleta foi realizada no bombeamento prévio a tal purificação (Figura 9C), sendo esta diretamente de fontes subterrâneas.



Figura 7 - Condomínio Residencial Ilha de Capri.

A quarta amostragem ocorreu no município de Belém, em uma residência localizada no bairro do Guamá (Figura 8), localizado entre as coordenadas  $1^{\circ}28'10''S$  e  $48^{\circ}27'43''W$  às 13:10h. Os moradores utilizam a água subterrânea obtida a partir de bombeamento (Figura 9D) para realização de atividades cotidianas, porém não para consumo próprio.



Figura 8 - Residência bairro do Guamá. Quarto ponto amostral.

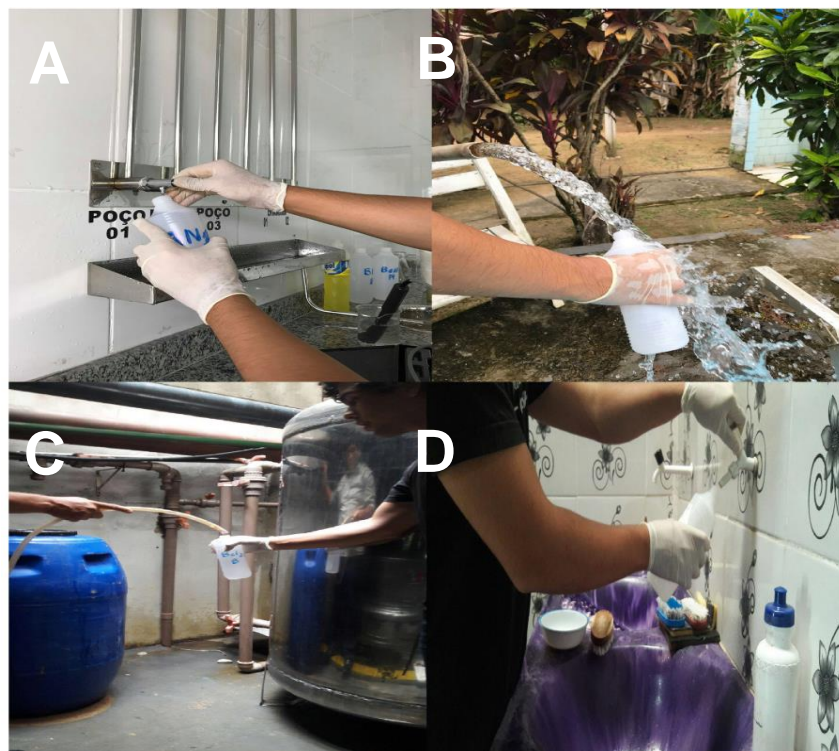


Figura 9 – A) Coleta no Laboratório de Águas subterrâneas da empresa Bela Água. B) Coleta por bombeamento em Sítio na Localidade de Santa Maria (Benevides). C) Coleta por bomba em edifício residencial no Bairro de São Brás. D) Coleta em residência no bairro do Guamá a partir de torneira ligada diretamente ao sistema subterrâneo.

### 3.2 COLETA DAS AMOSTRAS

As campanhas envolveram coletas de águas subterrâneas, que necessitaram de procedimentos e cuidados específicos, de acordo com as orientações de Normas Técnicas da CETESB (1978 e 1987).

Utilizaram-se garrafas de polietileno com tampa de enroscar e volume de 500 mL, deixadas inicialmente em solução ácida por 48 horas, e em seguida, lavadas com água deionizada. Esse procedimento evita qualquer tipo de contaminação proveniente do frasco.

As garrafas foram lavadas três vezes com a própria amostra antes do preenchimento definitivo. As amostras foram coletadas em triplicata em cada ponto. A medição dos parâmetros físico-químicos pH, condutividade elétrica, temperatura e sólidos totais dissolvidos foi realizada in situ com uso de um analisador multiparâmetros da marca HANNA HI 991301, calibrado previamente com soluções tampões de pH 4,01 e 7,01.

As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e levadas ao Laboratório de Oceanografia Química (LOQ), localizado na Universidade Federal do Pará.

### 3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

Em laboratório, foram separados 200 mL de cada amostra para filtração. Devido a realização do método cromatográfico para análise dos ânions, a filtração foi necessária para evitar obstrução da coluna cromatográfica. Foram utilizadas membranas de fibra de vidro de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidade de 47 mm de diâmetro, e posteriormente 5 mL das amostras foram filtrados em filtro de nylon (Minisart) de 0,25  $\mu\text{m}$  de porosidade de 25 mm de diâmetro.

As amostras foram então transferidas para frascos de polietileno de 5 mL e transportadas ao Laboratório de Cromatografia do Instituto de Geociências – UFPA, onde foram realizadas as análises cromatográficas.

A quantificação dos ânions dissolvidos ( $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , e  $\text{SO}_4^{2-}$ ) foi feita por cromatografia de íons, previamente otimizado por Paranhos (2010). As seguintes condições cromatográficas foram empregadas: cromatógrafo de íons Dionex DX-120, demonstrados na Figura 10; coluna aniônica (ASRS ULTRA-AS14 Dionex), eluição com solução 3,5 mm  $\text{Na}_2\text{CO}_3/1,0$  mm  $\text{NaHCO}_3$  e fluxo 1,2 ml  $\text{min}^{-1}$ .

Para avaliar possíveis interferências analíticas, preparou-se o branco do método seguindo as mesmas etapas do preparo utilizado para as amostras de água subterrânea.



Figura 10 - Cromatógrafo de íons Dionex DX-120.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os resultados obtidos para parâmetros físico-químicos medidos: pH, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e temperatura encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Concentração dos parâmetros Físico-Químicos para as águas subterrâneas de Belém e Benevides.

Local	Amostras	Temperatura (°C)	pH	Sólidos Totais Dissolvidos (g/L)	Condutividade (mS/cm)
Benevides 1 (Bela Água)	Ben1	27,4	3,94	0,01	0,03
Benevides2 (Sítio)	Ben2	27,6	3,84	0,05	0,09
Belém 1 (São Brás)	Bel1	28,9	5,20	0,13	0,26
Belém 2 (Guamá)	Bel2	28,8	5,25	0,31	0,64

A temperatura não variou consideravelmente entre os pontos amostrais, no município de Benevides apresentou valores entre 27,4 C° e 27,6 C°, para o ponto Bela Água (Ben1) e Sítio (Ben2), respectivamente, e na cidade de Belém 28,9 C° no bairro de São Brás (Bel1), a 28,8 C° no bairro do Guamá (Bel2). Os valores de pH variaram entre 3,94 a 3,84 no município de Benevides, e no município de Belém entre 5,20 e 5,25, refletindo caráter ácido das amostras de água subterrânea. Para a condutividade os valores mais altos encontram-se no município de Belém, variando entre 0,26 mS/cm no bairro de São Brás (Bel1), à 0,64 mS/cm no bairro do Guamá (Bel2), no município de Benevides os valores variaram entre 0,03 mS/cm (Ben1) e 0,09 mS/cm (Ben2). Os valores de sólidos totais dissolvidos apresentaram distribuição semelhante, variando entre 0,13 g/L à 0,31 g/L no município de Belém, e entre 0,01 à 0,05 no município de Benevides.

### 4.2 ÍONS DISSOLVIDOS

O cromatograma típico obtido de amostras de água subterrânea está apresentado na Figura 11 . O branco do método não indicou interferências.

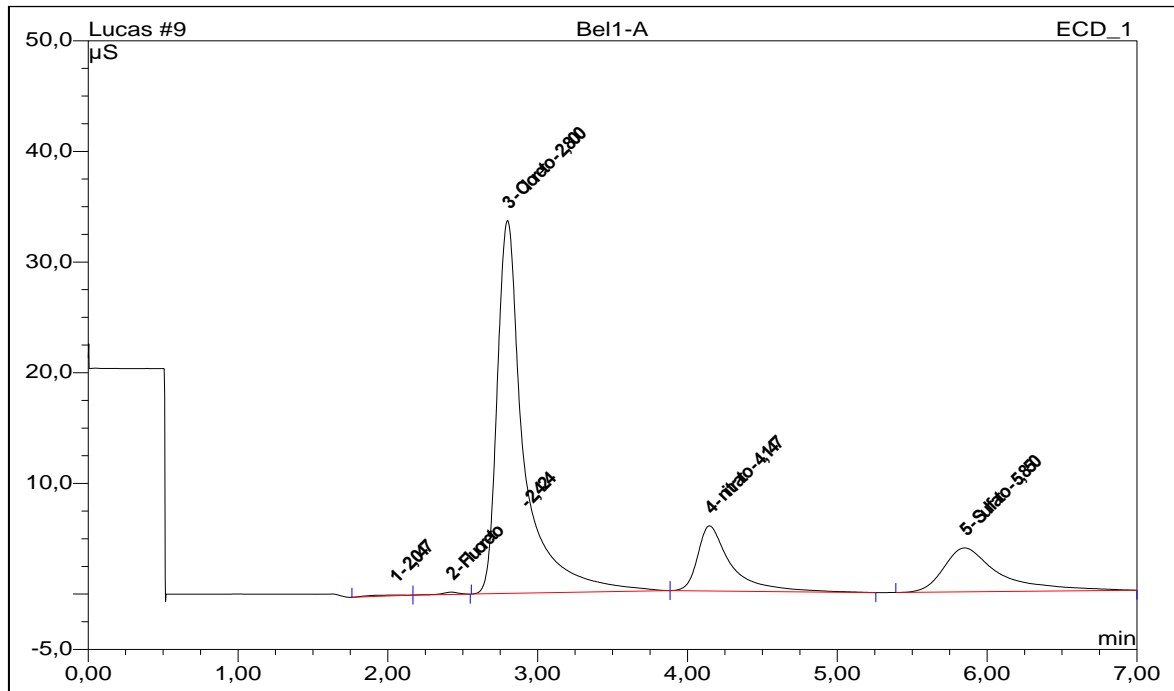


Figura 11 - Cromatograma obtido de amostras de água subterrânea do município de Belém, com identificação dos principais ânions.

Os resultados obtidos para os íons dissolvidos cloreto, fluoreto, nitrato, sulfeto e fosfato estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3 - Resumo estatístico dos íons dissolvidos em águas subterrâneas nos municípios de Belém e Benevides. nd\* não detectado

Amostras		Íons Dissolvidos				
		Fluoreto(mg/L)	Cloreto(mg/L)	Nitrato(mg/L)	Sulfato(mg/L)	Fósforo(mg/L)
Ben1	Máximo	0,63	2,85	2,72	0,21	nd
	Mínimo	0,51	2,6	2,66	0,15	nd
	Média	0,58	2,73	2,7	0,17	nd
	Desvio Padrão	0,05	0,12	0,03	0,02	nd
Ben2	Máximo	0,55	6,92	19,37	3,12	nd
	Mínimo	0,4	6,43	18,44	2,88	nd
	Média	0,48	6,7	18,95	2,99	nd
	Desvio Padrão	0,027	0,39	0,25	0,04	nd
Bel1	Máximo	0,16	43,54	19,09	15,65	nd
	Mínimo	0,1	42,75	18,61	15,56	nd
	Média	0,12	43,15	18,9	15,61	nd
	Desvio Padrão	0,02	0,39	0,25	0,04	nd
Bel2	Máximo	0,09	152,91	49,53	29,85	nd
	Mínimo	nd	151,26	47,45	28,77	nd
	Média	0,05	151,96	48,39	29,24	nd
	Desvio Padrão	0,05	0,85	1,05	0,55	nd

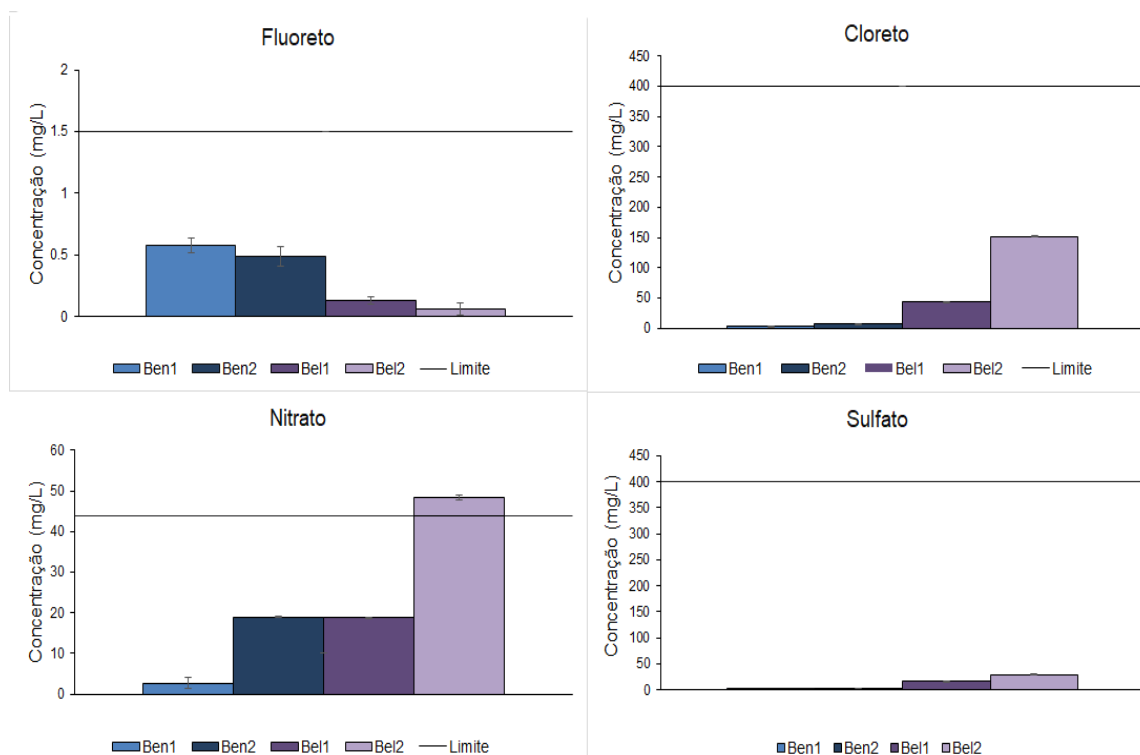


Figura 12 - Distribuição da concentração média de íons dissolvidos nas águas subterrâneas dos municípios de Belém e Benevides. Limite representa Valor Máximo Permitido segundo CONAMA 396/2008 para águas subterrâneas. Ben1 (Bela Água. Ben2 (Sítio). Bel1 (São Brás). Bel2 (Guamá).

Os valores dos íons nitrato, sulfato, e cloreto apresentaram comportamento semelhante, com concentrações para o município de Benevides, respectivamente, entre, 2,7 mg/L à 18,95 mg/L, 0,17 mg/L à 2,99 mg/L, e 2,73 mg/L à 6,70 mg/L. No município de Belém, as concentrações variaram entre 18,90 mg/L à 48,39 mg/L de nitrato, 15,61 mg/L à 29,24 mg/L de sulfato, e 43,15 mg/L de cloreto. O íon fluoreto apresentou comportamento contrario, suas concentrações maiores ocorreram no município de Benevides, variando entre 0,58 mg/L à 0,48 mg/L, e no município de Belém entre 0,12 mg/L à 0,05 mg/L. O íon fosfato não apresentou valores significativos em nenhum ponto amostral.

## 5 DISCUSSÃO

Os valores obtidos durante as campanhas demonstraram certa heterogeneidade entre as águas subterrâneas de Belém e Benevides.

### 5.1 pH

Quanto aos parâmetros físico-químicos, o pH em todas as amostras demonstrou característica ácido, representados na Tabela 3. Em estudos anteriores, (Tabela 4) as águas do aquífero Barreiras demonstraram valores de pH variando de 2,96 a 7,2, com médias entre 4,2 à 4,6 (Azevedo 2006. Cabral 2004. Cortez 2000. Matta 2002. Paranhos 2010). Baixos valores de pH podem acarretar na corrosão das tubulações dos poços de captação, gerando doenças como gastrite e afins no organismo humano, e restrições no uso pela indústria (Matta 2002)

De acordo com Cabral (2004), o pH ácido em águas subterrâneas pode ser indício de contaminação dos poços tubulares por fossas e esgotos domésticos. Águas naturais contêm geralmente  $\text{CO}_2^-$  dissolvido,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_2^-$  livre, que juntos formam um sistema tampão, razão pela qual as variações de pH são relativamente pequenas, entre 5,0 e 8,0 (Libes 2002). Paranhos (2010) constata que as águas do aquífero Barreiras, coletadas a partir de poços rasos (16 m), apresentam pH entre 3,98 e 4,14, assim como valores extremamente baixos de bicarbonato e cálcio, este presente sob a forma de bicarbonato e raramente como carbonato (Feitosa & Filho 1997). Tais fatores podem explicar o pH ácido para as amostras analisadas.

Tabela 4 - Parâmetros Físico-químicos e ions dissolvidos para estudos na regio metropolitana de Belém e Medianeira (PR).

Local	T (°C)	pH	STD (mg/L)	CE (uS/cm)	$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	$\text{PO}_4^{3-}$ (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	F <sup>-</sup> (mg/L)	Aquiferos	Referência
Medianeira (PR)	-	-	-	-	3,05	1,5	0,18	4,12	0,25	Serra Geral/Guarani	Flores et al. 2017
RMB	-	4,94	0,14	0,21	39,5	41	-	-	-	Barreiras	Oliveira 2002
Belém (PA)	28,4	3,58	0,12	0,22	38,4	4,85	-	20,05	-	Barreiras	Matta 2002
Urucará (AM)	-	6,25	-	0,09	1,7	1	-	2,6	-	Alter do Chão	Azevedo 2006
Belém (PA)	26	4,45	-	0,35	39,3	2,64	-	2,27	-	Barreiras	Cortez 2000
Belém (PA)	27,7	4,03	0,13	0,21	46,45	12,48	-	19,85	-	Barreiras	Paranhos, 2010
RMB	28,1	4,55	0,12	0,25	22,23	12	-	51,13	0,31	Barreiras	Este estudo
Belém 1 (São Braz)	28,9	5,2	0,13	0,26	18,9	15,61	-	43,15	0,12	Barreiras	Este estudo
Belém 2 (Guamá)	28,8	5,25	0,31	0,64	48,39	29,24	-	151,3	0,05	Barreiras	Este estudo
Benevides 1 (Bela Água)	27,4	3,94	0,01	0,03	2,7	0,17	-	2,73	0,58	Barreiras	Este estudo
Benevides 2 (Sitio)	27,6	3,84	0,05	0,09	18,95	2,99	-	6,7	0,48	Barreiras	Este estudo
Valores Máxioms Permitidos	-	-	1	-	44,3	250	-	250	1,5	-	CONAMA 396/2008

## 5.2 CONDUTIVIDADE

A condutividade da água é dependente do seu conteúdo iônico, e está associada a disponibilidade de eletrólitos nas água, sendo diretamente proporcionais à sua concentração. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade elétrica da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (Ceretta 2004).

Os valores no município de Benevides e no bairro de São Brás encontram-se dentro da concentração esperada para o aquífero barreiras, que segundo estudos variam entre 0,07 mS/cm e 0,3 mS/cm. O bairro do Guamá apresentou valores mais altos que os encontrados em estudos anteriores, o que indica maior disponibilidade de eletrólitos, evidenciando maior contaminação pelas redes de esgotos e fossas presentes no bairro, além da possível contaminação pelo cemitério Santa Izabel. Migliorini (2006) e Matos e Pacheco (2002), associam o aumento no teor de sais dissolvidos devido ao necrochorume liberado pela secreção da dissolução pútrida dos corpos em cemitérios próximos a aquíferos rasos, assim, representando a possível fragilidade do aquífero Barreiras devido a presença do cemitério no município.

## 5.3 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

O comportamento dos STD foi abaixo do VMP pela resolução Conama 2008 para Águas Subterrâneas (1 g/L) (Tabela 3). Os valores mais altos no ponto do Guamá podem ter sido em decorrência da corrosão do encanamento pelos valores de pH associados a condutividade elétrica das águas, liberando material para a água coletada.

## 5.4 FLUORETO

O íon fluoreto é comumente encontrado em pequenas concentrações em águas subterrâneas, sua principal fonte está relacionada ao intemperismo de rochas ígneas e magmáticas contendo fluorita, em águas subterrâneas, pode variar desde menos que 1 mg/L a mais de 35 mg/L (Feitosa & Filho, 1997; Andreazzini et al., 2006).

A ingestão de flúor em excesso pode causar intoxicação crônica, levando ao desenvolvimento de fluorose dentária, que se caracteriza como uma anomalia do desenvolvimento dos dentes associada a deformações do esmalte que provoca aumento de porosidade, opacidade, manchas e erosão do esmalte (WHO 2002 apud Santiago 2009).

As concentrações do íon fluoreto foram inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 de 1,5 mg/L. As concentrações de fluoreto não seguiram a tendência esperada como os outros íons investigados. As maiores concentrações de fluoreto foram observadas em Benevides e as menores em Belém. Tais valores demonstraram que o flúor, nas águas do aquífero, não se relaciona com a poluição antrópica diretamente. Em estudo realizado por Flores 2017, no aquífero Serra Geral e Guarani, foi constatada concentrações baixas para o íon flúor, dado então característicos para águas subterrâneas de forma geral.

### 5.5 FOSFATO

Segundo Mathess & Harbey 1982, devido a ação de microorganismos, a concentração de fosfato em águas naturais deve ser baixa ( $< 0,5$  mg/L), valores acima de 1,0 mg/L geralmente são indicativos de águas poluídas. Por via antropogênica, este pode ser acrescido às águas subterrâneas por derivados de detergentes, efluentes domésticos, inseticidas e pesticidas (Feitosa & Filho 1997).

Nas amostras não foram detectadas concentrações de fosfato pelo método cromatográfico.

### 5.6 CLORETO

O cloreto está presente em todas as águas naturais, com valores situados entre 10 mg/L e 250 mg/L nas águas doces, em geral, é muito solúvel e muito estável em solução, logo, dificilmente precipita (Feitosa & Filho 1997). Porém, segundo Lucema (2014), valores acima de 100 mg/L são indicadores de contaminação por água do mar, por aterro sanitários, e/ou esgotos domésticos e industriais.

Os dados obtidos a partir da análise da águas subterrâneas apontaram valores inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 de 250 mg/L..

A maior concentração de cloreto nos bairros de São Brás e Guamá quando comparadas aos outros pontos, pode ter relação com a vulnerabilidade da área por contaminação antrópica, como a presença do cemitério de Santa Izabel. Matos & Pacheco (2002) mostraram que as sepulturas provocam um acréscimo na quantidade de sais minerais, como cloreto, sódio e cálcio nas águas subterrâneas, devido a resíduos liberados por meio da secreção da dissolução pútrida dos corpos. Tal fator pode explicar a maior

concentração de cloreto nas águas dessa região, visto que ambas encontram-se nas proximidades do cemitério (Figura 14).

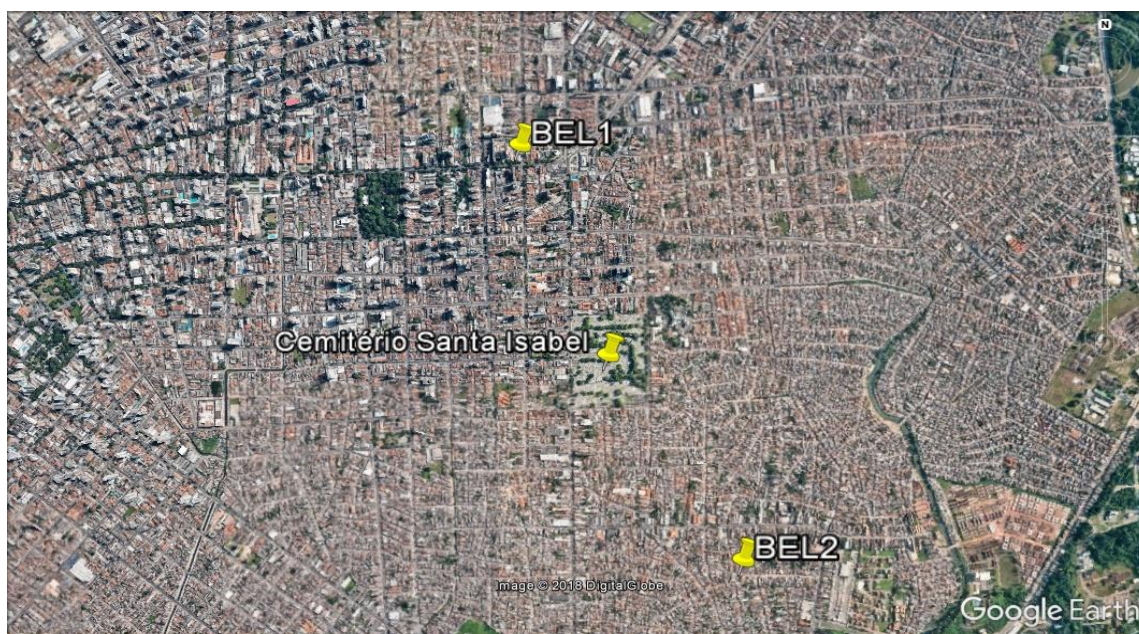


Figura 13 - Mapa de localização do Cemitério Santa Izabel entre os ponto Bel1, localizado no bairro de São Brás, e Bel2, localizado no bairro do Guamá.

## 5.7 SULFATO

Forma predominante do enxofre em ambientes aeróbicos, o sulfato forma sais moderadamente solúveis a muito solúveis, em águas subterrâneas, apresentam geralmente teores de sulfato inferiores a 100 mg/L, quando em excesso, (> 400mg/L) a presença do íons sulfato em águas naturais pode causar efeitos laxativos (Batalha & Parlato 1974 *apud* Feitosa & Filho 1997).

As amostras de águas subterrâneas apresentaram valores abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 de 250 mg/L de sulfato para águas subterrâneas.

As baixas concentrações de sulfato nas águas já eram esperadas, devido a alta solubilidade do íon, associado a falta de grandes fontes para a RMB (compostos sulfatados gipsita e anidrita), como observado em outros trabalhos (Oliveira 2002. Paranhos 2010).

## 5.8 NITRATO

O nitrogênio dissolvido na forma de íon nitrato é o contaminante mais comum encontrado em águas subterrâneas, é considerado, nos dias atuais, um dos parâmetros de maior importância no estudo da contaminação dos sistemas aquíferos (Feitosa & Filho

1997). Trata-se de uma substância persistente, móvel, que não degrada facilmente em meio aeróbico e, em teores acima de 44,3 mg/L, pode causar doenças como a metahemoglobinemia (baby blue syndrome) e o câncer gástrico (Matta 2002. USEPA, 2010).

No município de Benevides as amostras, de forma geral, apresentaram valores abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 de 44,3 mg/L. Porém, a maior concentração do íon dissolvido no segundo ponto, demonstra possível influência antrópica sobre as águas do aquífero, fator possivelmente relacionado a maior presença de residências que depositam seus dejetos em fossas antisépticas na região adjacente ao ponto, tornando as águas desta região mais propensas a maiores concentrações de nitrato, assim como outros poluentes.

As amostras analisadas na região de Belém apresentaram valores distintos, porém ambas demonstraram influência da urbanização nas concentrações de nitrato nas águas. A concentração de nitrato no bairro de São Brás apresentou valores semelhantes ao sítio no município de Benevides, já o bairro do Guamá apresentou a maior concentração em toda malha amostral, estando aproximadamente 5 mg/L acima do limite máximo de nitrato para águas subterrâneas estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008. Estudos anteriores já registraram para RMB águas subterrâneas com altos teores de nitrato (Cortez 2000. Matta 2002. Cabral 2004. Paranhos 2010. Oliveira 2002), como demonstrado na Tabela 4, relacionando tais concentrações principalmente à contaminação por efluentes líquidos (principalmente esgotos domésticos) das águas superficiais que interagem com as águas subterrâneas, à presença de fossas negras, e a inexistência ou má eficiência do saneamento básico. Tais fatores somados a um nível estático muito raso nessas áreas, muitas vezes inferior a 5 metros, tornam à região susceptível a contaminação.

## 6 CONCLUSÃO

A avaliação dos parâmetros físico-químicos e íons dissolvidos nas águas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém permitem inferir características diferentes para as águas do aquífero Barreiras nos municípios de Belém e Benevides.

As águas subterrâneas no município de Benevides, de modo geral, apresentaram menor contaminação, fator relacionado à maior presença de vegetação aliada à menor urbanização da região. Porém, a variação nos teores de nitrato entre os pontos de coleta, demonstra o possível início de contaminação para as águas subterrâneas na localidade com maior número populacional.

As águas subterrâneas no município de Belém demonstraram maior influência antrópica quando comparadas a Benevides. Os parâmetros físico-químicos e as concentrações dos íons dissolvidos demonstram maior vulnerabilidade a contaminação na região, principalmente no bairro do Guamá, fator que pode estar relacionado a presença do cemitério Santa Izabel, associado à ineficácia no tratamento de esgoto e características do solo da região.

A gestão hídrica nos municípios carece de informações, como verificado pelo trabalho na falta de dados sobre concentrações de flúor, de maneira geral, e, no município de Benevides, informações sobre parâmetros químicos e físico-químicos das águas subterrâneas do município.

Considerando-se conjuntamente todos os indicadores analisados, torna-se evidente a necessidade do acompanhamento às alterações na qualidade de água, visto a crescente utilização dos mananciais subterrâneos como fonte de abastecimento, para assegurar-se do melhor manejo e qualidade para a população atual e futura dos municípios.

## REFERÊNCIAS

- Al-Sefry S.A., Sen Z., 2006, Groundwater Rise Problem And Risk Evaluation In Major Cities Of Arid Lands – Jeddah Case in Kingdom of Saudi Arabia. *Water Resources Management*, 20: 91–108.
- ANA (Agencia Nacional de Águas). 2010. Abastecimento Urbano de água. Disponível em: [atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=4](http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=4). Acesso em: 28 de dezembro de 2017.
- Andreazzini M.J., Figueiredo B.R., Licht O.A.B. 2006. Geoquímica do Flúor em Águas e Sedimentos Fluviais da Região de Cerro Azul, Estado do Paraná: Definição de Áreas de Risco para Consumo Humano. *Geologia Médica*, São Paulo. p. 220.
- Azevedo R. P. 2006. Uso De Água Subterrânea Em Sistema De Abastecimento Público De Comunidades Na Várzea Da Amazônia Central. *Acta Amazônica*. 36 (3): 313 – 320.
- Batalha B.L., Parlato A.C. 1977. Controle de Qualidade de Água para Consumo Humano: Bases Conceituais e Operacionais. *CETESB*, São Paulo. 198.
- Braga B., Hespanhol I., Conejo J.G.L., Barros M.T.L., Spencer M., Porto M., Nucci N., Eiger S. 2005. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo, SP: Prentice Hall.
- Braile P.M.; Cavalcanti J.E.W.A. 1993. Manual De Tratamento De Águas Residuárias. *CETESB*, São Paulo.
- Brito D.C. 2008. *Aplicação Do Sistema De Modelagem Da Qualidade Da Água Qual2kw Em Grandes Rios: O Caso Do Alto E Médio O Rio Araguari – AP*. MS Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Biologia. Universidade Federal do Amapá.
- Cabral N.M.T. 2004. *Impacto Da Urbanização Na Qualidade Das Águas Subterrâneas Nos Bairros Do Reduto, Nazaré E Umarizal – Belém/PA*. PhD Tesis. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004. CD-ROM.
- Celligoi A. 1999. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. *Geografia*, Londrina. 8: 91-97.
- Ceretta M. C. 2004. *Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena - Município de Santa Maria – RS*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos

Hídricos E Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2004. Disponível em: [http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_arquivos/20/TDE-2007-03-01T143703Z-416/Publico/MARISTELACERETTA.pdf](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/20/TDE-2007-03-01T143703Z-416/Publico/MARISTELACERETTA.pdf). Acesso em: 17 Jan 2018.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) 1978. Normalização Técnica NT-07. Análise físico-química das águas. *São Paulo-SP*. p. 340.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) 1987. Guia de coleta e preservação de amostras de água. *São Paulo-SP*. p. 150.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) 2006. Índice de Qualidade da Água (IQA). *São Paulo-SP*. 23 p.

Conselho Nacional Do Meio AMBIENTE (CONAMA). Resolução Conama nº357. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em 29 de dezembro de 2017.

Cortez C.M.B., Tagliarini E.M., Tancredi A.C.F.N.S. 2000. Utilização de águas minerais dos aquíferos do Grupo Barreiras na região de Belém (PA). In: Joint World Congress on Groundwater, 1. Fortaleza (CE) – CD-ROM.

Feitosa F. A. C., M. Filho J. 1997. *Hidrogeologia: Conceito e Aplicações*. Fortaleza-CE, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Fortaleza. LABMID-UFPE. 412 p.

Fineza A.G. 2008. Avaliação da Contaminação de Águas subterrâneas por Cemitérios, estudo de caso de Tabuleiro-MG. MS Dissertation. Viçosa, Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.

Fraga C.G. 1992. Origem de Fluoreto em Águas Subterrâneas dos Sistemas Aquífero Botucatu e Serra Geral na Bacia do Paraná. PhD Teshis, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Foster S., Lawrence A., Morris B., 2001, Las águas subterrâneas en el desarrollo urbano: Evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias: Washington D.C., Banco Internacional de Reconstruccion y Fomento/Banco Mundial, p. 60.

Goulart M.D.C, 2003. Bioindicadores De Qualidade De Água Como Ferramenta Em Estudos De Impacto Ambiental. *Revista da FAPAM*. no 1. Disponível em: <http://www.santoangelo.uri.br/~briseidy/P%F3s%20Licenciamento%20Ambiental/bioindicadores%2019.10.2010.pdf>. Acesso em: 12 Jan 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2017. Panorama Cidades do Brasil. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>. Acesso em: 26 de setembro de 2017.

Joetzjer E. 2013. Present-Day And Future Amazonian Precipitation In Global Climate Models: CMIP5 Versus CMIP3. *Climate Dynamics*, 41, (11-12): 2921-2936. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-012-1644-1>.

Latinopoulos D., Theodossinou N., Latinopoulos P. 2011. Combined Use Of Groundwater Simulation And Multi-Criteria Analysis Within A Spatial Decision-Making Framework For Optimal Allocation Of Irrigation Water. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 9: p. 1105-1119.

Libanio M. 2008. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de água. 2.ed. São Paulo: Átomo.

Lima E.B.N. 2001. Modelagem Integrada para Gestão da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá. PhD Teshis. Instituto de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: [http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/doutorado/rh/2001/teses/RONDON%20LIMA\\_EBN\\_02\\_t\\_D\\_est.pdf](http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/doutorado/rh/2001/teses/RONDON%20LIMA_EBN_02_t_D_est.pdf). Acesso em: 20 jan 2018.

Lourencetti M.L.R.C., Pereira S.Y., Marchi M.R.R. 2007. Contaminação de Águas Subterrâneas por Pesticidas: Avaliação Preliminar. *Química Nova*. 27: 688-694.

Lucas E.W.M., Barreto N.J.C., Cunha A.C. 2010. Variabilidade Hidrológica da Bacia do Rio Jarí (AP): Estudo de Caso do ano 2000. *Livro Tempo, Clima e Recursos Hídricos: do Projeto REMETAP no Estado do Amapá*, Macapá-AP. p. 119-134.

Luz Netto F.M., Danelon J.R.B., Rodrigues, S.C. 2011. Avaliação Da Qualidade Da Água E Do Uso Da Terra Da Bacia Hidrográfica Do Córrego Terra Branca – Uberlândia – MG. *Revista Geográfica Acadêmica*. 5(2): 11-22.

Matta M.A. 2002. Fundamentos Hidrogeológicos Para A Gestão Integrada Dos Recursos Hídricos Da Região De Belém/Ananindeua – Pará, Brasil. Belém, PhD Teshis. Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará.

Matos B., pacheco A. 2002. Avaliação Da Ocorrência E Do Transporte De Microrganismos No Aquífero Freático Do Cemitério De Vila Nova Cachoeirinha,

Município De São Paulo. In: Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas, Florianópolis. ABAS, 2002. CD-ROM.

Netto J.P.G.M, Neto C.B., Filho F.W.B.F., Ramos C.S.B., Lima N.P., Brunelli B.F.2016. Gênese, Ocorrência e Tecnologias De Tratamento Para o Excesso De Flúor Na Água Subterrânea, Com Ênfase a Região Metropolitana De São Paulo. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. In: <http://www.abas.org/xixcabas/index.php>. Acesso em: 19 jan 2018.

Oliveira J.R., Weissberg I, Navegantes, P.S. 1998. Captação Subterrânea Na Região Metropolitana De Belém (RMB). X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. In: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22261/14606>. Acesso em: 18 jan 2018.

Oliveira J. R., 2002. Projeto Estudos Hidrogeológicos Da Região Metropolitana De Belém E Adjacências. CPRM. Programa Nacional De Recursos Hídricos. Disponível em:[http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/10744/rel\\_hidro\\_belem\\_adj2002.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/10744/rel_hidro_belem_adj2002.pdf?sequence=1). Acesso em: 10 jan 2018.

Paranios P.F. 2010. *Caracterização Hidroquímica Do Sistema Aquífero Pirabas Em Icoaraci, Região Metropolitana De Belém – Estado Do Pará*. MS Dissertation.Belém, Pará. Programa De Pós-Graduação Em Geologia E Geoquímica, Universidade Federal do Pará.

Pereira C.M., Muniz D.H.F., Parron L.M. 2011. *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*. Colombo: Embrapa Florestas. 69 p.

Pineda M.D., Schäfer A. 1987. Adequação De Critérios E Métodos De Avaliação Da Qualidade De Águas Superficiais Baseada No Estudo Ecológico Do Rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência e Cultura*, 39: p.198-206.

Rebouças A.C., 1994. Fundamentos da Gestão de Aquíferos. In: Congresso Latino-Americano de Hidrologia Subterrânea. Santiago/Chile. 35p.

Rebouças A.C., Braga B., Tundisi J.G. (4 ed).c1999. Águas Doces No Brasil: Capital Ecológico, Uso E Conservação. São Paulo, *Academia Brasileira Científica./IEA-USP*. 717 p.

Rodrigues R.C., Dias, M.S.O., Sá L.F., Gutierrez L.A.C.L., Pereira J.A.R. 2005. Caracterização Da Água Bruta E Avaliação Da Carga Hidráulica Na Estação De Tratamento De Água Do Bolonha (Eta-Bolonha)-Região Metropolitana De Belém. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento Ambiental Brasileiro: Utopia ou Realidade?. Rio de Janeiro, ABES. 2005. p. 1-7.

Santiago M.R., Silva J.S. 2009. Fluor em águas subterrâneas: Um problema Social. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em: [http://jararaca.ufsm.br/websites/labhidro/download/ABRH\\_2009/Santiago.pdf](http://jararaca.ufsm.br/websites/labhidro/download/ABRH_2009/Santiago.pdf). Acesso em: 17 jan 2018.

Shanahan P. 2009. Groundwater in the urban environment, en Baker, L.A. *The Water Environment of Cities: Nueva York, Springer*, p. 29–48.

Shen Y. 2008. Groundwater Resources in Urban Water Management, In: Takizawa, S. *Groundwater Management in Asian Cities: Technology and Policy for Sustainability: Tokio, Springer*. p. 35–59.

Shiklomanov I.A. 1998. World Water Resources A New Appraisal And Assessment For The 21st Century. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO: World Water Resources. Disponível em: <http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/Papers/Shiklomanov.pdf>. Acesso em: 10 jan 2018.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 1995. Drinking water regulations and health advisories. *Offices of water*. Disponível em: < URL <http://www.epa.gov>. > Acesso em: 17 jan 2018.

Trenberth K.E., Smith L., Qian T., Fasullo J. 2006. Estimates of the Global Water Budget and Its Annual Cycle Using Observational and Model Data. *Journal Of Hydrometeorology—Special Section*. 8: 758-769.

Tucci, C.E.M. 1997. Hidrologia: Ciência E Aplicação. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS. 2.ed.

Tucci, C.E.M., Bertoni, J.C. 2003. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre. 2003.

- Tucci, C.E.M., CABRAL, J. 2003. Qualidade da Água Subterrânea. *Centro de Gestão de Estudos Estratégicos*. 53 p.
- Tucci, C.E.M. 2006. Águas doces no Brasil: Água no meio urbano. 3ª Edição.
- Tucci, C.E.M. 2008. Águas Urbanas. *Estudos Avançados*. USP, 22: 97-112.
- Tundisi, J.G., Tundisi, T.M., 2008. Limnologia. 1ª Edição.
- Vargas T.C., Vargas I. Badila E. 2012. 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*. 46: 179-188.
- Varnier C. Iritani M.A. Viotti M., Oda G.H., Ferreira L.M.R. 2010. Nitrato Nas Águas Subterrâneas Do Sistema Aquífero Bauru, Área Urbana Do Município De Marília (SP). *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo. p. 1-21.
- Vasconcelos V.M.M. 2010. *Caracterização Dos Paramêtros De Qualidade Da Água Do Manancial Utinga, Belém-Pa*. MS Dissertation. Taubaté, São Paulo. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté-SP.
- Vesilind P.A., Morgan S.M. 2013. Introdução à engenharia ambiental. *Cengage Learning*, São Paulo.
- World Health Organization (WHO). 2006. Protecting Groundwater For Health – Managing The Quality Fo Drinking Water Sources. p. 1-155. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/PGWsection1.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/PGWsection1.pdf). Acesso em: 12 jan 2018.
- World Health Organization (WHO). 2002. Environmental Health Indicators: Development of a Methodology for the European Region. *Statistical journal of the United Nations Economic Commission for Europe*. 19(1): 93-103.

