



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**COMPOSIÇÃO ANIÔNICA E PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: SUBSÍDIOS À
GESTÃO AMBIENTAL DO NORDESTE PARAENSE**

Trabalho apresentado por:

FELIPE OHADE LOPES BRANCO

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Silvia Keiko Kawakami (UFPA)

BELÉM

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**COMPOSIÇÃO ANIÔNICA E PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: SUBSÍDIOS À
GESTÃO AMBIENTAL DO NORDESTE PARAENSE**

Trabalho apresentado por:

FELIPE OHADE LOPES BRANCO

Orientadora: Prof^a. Dr^a. 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)

B816c Branco, Felipe Ohade Lopes
Composição Aniônica e Parâmetros Físico-Químicos de Águas Subterrâneas: Subsídios à
Gestão Ambiental do Nordeste Paraense / Felipe Ohade Lopes Branco. — 2018
x, 45 f. : il. color

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Silvia Keiko Kawakami

1. Ânions Dissolvidos. 2. Hidrogeologia. 3. Recursos Hídricos. 4. Qualidade da Água. I.
Kawakami, Silvia Keiko, *orient.* II. Título

CDD 551.49098115



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

**COMPOSIÇÃO ÂNIONICA E PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: SUBSÍDIO À
GESTÃO AMBIENTAL DO NORDESTE PARAENSE**

APRESENTADO POR:

FELIPE OHADE LOPES BRANCO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia

Data de Aprovação: 12 / 07 / 2018

Banca Examinadora:

Prof.^a Silvia Kawakami – Orientadora
Doutora em Oceanografia Química
Universidade Federal do Pará

Prof.^a Camila Rodrigues – Membro
Doutora em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Rafael Aquino – Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e à Nossa Senhora de Nazaré por todas as coisas que aconteceram na minha vida e fizeram de mim quem sou hoje. Por serem, e terem colocado pessoas e família que foram meu suporte ao longo desses anos.

Aos meus pais, que não mediram esforços para o meu desenvolvimento pessoal e profissional, sempre me incentivando ao longo do curso, e muitas vezes sendo o meu combustível dentro da Oceanografia.

À minha irmã, que mesmo em outro estado sempre se fez presente (às vezes até demais), e mesmo até hoje não entendendo completamente a atuação do Oceanógrafo e só dizendo “ele estuda os oceanos e nada com boto”, foi imprescindível na minha formação profissional.

À toda minha família, os de sangue e os que tive a honra e o privilégio de conhecer através de meus pais, e em especial ao meu tio João e Marco, que são minha inspiração familiar dentro da vida náutica.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Silvia Keiko Kawakami, que foi essencial para o meu desenvolvimento profissional e científico, me possibilitando ter as experiências que abriram várias portas ao longo da graduação. Também, a todo o corpo docente da Faculdade de Oceanografia da UFPA pelo conhecimento passado, pela amizade construída, e por nos instigar a sempre evoluir como pessoas e profissionais, assim como ao Instituto de Geociências da UFPA.

Aos “Irmãos e CR7” e “Lutipe”, sem os quais a graduação teria sido muito mais difícil. Sou grato por todas as disciplinas juntos, as viagens de campo e de congresso, e às saídas que nos ajudavam a manter a sanidade (e as vezes perder um pouco dela). João Pedro, Lucas, Mattheus, Patrícia e Yago, vocês foram a prova de que, sim, na faculdade você pode encontrar amigos de verdade.

À Oceanografia 2014, em especial ao Artur, Cássia, Débora Souza, Gabriel Alves, Gabriel Souza, Herbert, Ivson, Jacqueline, Marcos e Luana. As lembranças de cada vadião, Jorge e Rosa’s Pub vão ficar pra sempre, assim como o carinho que a Família Oceanajas criou, que tempo nenhum vai desfazer.

A todos que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico, e de alguma forma me ajudaram ao longo desses anos insanos, mas de constante crescimento que foi a graduação.

“Quando se tem vontade
a vida abre as suas asas.”

RESUMO

As águas subterrâneas tendem, naturalmente, a apresentar excelente qualidade para os mais diversos usos, representando, portanto, uma alternativa viável em grandes centros urbanos ou pequenas comunidades. A sua captação, quando realizada por técnicas inadequadas de construção de poços, por exemplo, fragilizam o solo e conseqüentemente aumentam o risco à contaminação das águas dos aquíferos. O Nordeste Paraense é a região do Norte brasileiro que se encontra mais suscetível à contaminação por agrotóxicos e nutrientes, devido aos avanços de diversas monoculturas, com destaque para os plantios de soja e cítricos. No presente estudo, teve-se como objetivo avaliar, de forma preliminar, a qualidade das águas subterrâneas dos aquíferos relacionados às formações geológicas Pós-Barreiras, Barreiras e Pirabas, a partir da concentração dos ânions dissolvidos e parâmetros físico-químicos básicos, nos municípios de Bragança, Capitão Poço e Salinópolis, Nordeste Paraense. Os resultados obtidos foram comparados com os Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008, para avaliar a qualidade da água subterrânea para consumo humano. A concentração dos ânions dissolvidos (Cl^- , F^- , PO_4^{3-} , NO_3^- e SO_4^{2-}) foi determinada por meio da cromatografia de íons. Os parâmetros físico-químicos foram obtidos com o auxílio de um Analisador Multiparâmetros para Condutividade Elétrica (CE), pH, Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Temperatura. Os resultados indicaram que as águas subterrâneas dos pontos amostrais do Nordeste Paraense possuem, em sua maioria, o pH ligeiramente ácido variando de 3,25 a 7,91 (este máximo sendo um resultado pontual), assim como uma baixa concentração de STD (4 a 18 mg/L) e CE (70 a 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A composição iônica indicou que os pontos amostrais possuem, também, baixa concentração aniônica (< VMP), onde Cl^- apresentou concentrações que variaram de 2,80 a 23,49 mg/L, F^- variou de 0,28 a 0,37 mg/L, NO_3^- variou de 0,44 a 28,12 mg/L, SO_4^{2-} variou de 0,11 a 18,19 mg/L, e o íon PO_4^{3-} esteve abaixo do limite de detecção do método analítico empregado. Concluiu-se que, de acordo com os parâmetros investigados, todos os pontos amostrais se encontram dentro do padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008, embora algumas concentrações pontuais possam indicar influência antropogênica sobre o corpo hídrico, principalmente no município de Bragança, o de maior pressão antrópica no solo.

Palavras-chave: Ânions Dissolvidos. Hidrogeologia. Recursos Hídricos. Qualidade da Água.

ABSTRACT

Naturally the underground waters present an excellent quality for the most variable uses, representing a viable alternative in big urban centres or small communities. Your catchment, when realized by inadequate techniques of wells constructions, for an example, fragilize the ground and increase the risk to contamination of the water from the aquifers. The Northeast of Pará is the region on the Brazilian North which is more susceptible to contamination by pesticides and nutrients, due to the advances of many monocultures, with emphasis on soybean and citric plantations. On the present study, the aim was to evaluate, in a preliminary way, the quality of the underground waters from the geological formations Pós-Barreiras, Barreiras and Pirabas, from the concentrations of the dissolved anions and the basic physicochemical parameters, on the city of Bragança, Capitão Poço and Salinópolis, Northeast of Pará. The obtained data were compared with the Maximum Value Permitted (MVP) established by the CONAMA Resolution nº 396/2008, to evaluate the quality of the underground water for human consumption. The concentration of the dissolved anions (Cl^- , F^- , PO_4^{3-} , NO_3^- and SO_4^{2-}) were determined by ion chromatography. The basic physicochemical parameters were obtained with a Multiparameter Analyzer for Electrical Conductivity (EC), pH, Total Dissolved Solids (TDS) and Temperature. The results indicated that the underground waters from the sampling points of the Northeast of Pará had, in general, a slightly acid pH varying in 3,25 to 7,91 (this maximum was a punctual result), as the low concentration of TDS (4 to 18 mg/L) and EC (70 to 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$). The ionic component indicated that the sampling points has, also, a low anionic concentration ($< \text{MVP}$), where the Cl^- showed concentrations that varied in 2,80 to 23,49 mg/L, F^- varied in 0,28 to 0,37 mg/L, NO_3^- varied in 0,44 to 28,12 mg/L, SO_4^{2-} varied in 0,11 to 18,19 mg/L, and PO_4^{3-} was below the detection limit of the analytical method used. So, it was concluded that, according to the investigated parameters, all of the sampling points were within the quality standard established by the CONAMA Resolution nº 396/2008, although some of the points concentration can indicate anthropic influence under the water body, especially on the city of Bragança, which has the biggest anthropic pressure on the ground.

Key-words: Dissolved Anions. Hydrogeology. Hydric Resources. Water Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Ciclo hidrológico. Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA)..... | 4 |
| Figura 2 - Aquíferos confinados e livres. Fonte: Todd (1967)..... | 5 |
| Figura 3 - Caracterização das unidades geológicas ocorrentes no Nordeste Paraense. Fonte: Saldanha (2009) modificado por Cunha (2017) | 8 |
| Figura 4 - Mapa do Nordeste Paraense, e a localização dos municípios que compõem a área de estudo..... | 15 |
| Figura 5 - Fonte pública de água que jorra naturalmente de manancial subterrâneo..... | 17 |
| Figura 6 - Torneira d'água com captação direta do aquífero subterrâneo..... | 18 |
| Figura 7 - Poço artesiano construído no Sítio Particular para captação da água subterrânea. . | 18 |
| Figura 8 - Estrutura de bombeamento da água subterrânea para a Residência Local. | 19 |
| Figura 9 - Estrutura de bombeamento da água subterrânea para a residência..... | 19 |
| Figura 10 - Caixas d'água que armazenam a água subterrânea captada para distribuição para população local. | 20 |
| Figura 11 - Sistema de filtração utilizado durante o procedimento de preparo das amostras. . | 21 |
| Figura 12 - Cromatógrafo de íons Dionex DX-120..... | 21 |
| Figura 13 - Cromatograma obtido para a solução padrão (concentrações de 0,20 mg/L a 1,38 mg/L). | 22 |
| Figura 14 - Variação dos valores de temperatura entre os pontos amostrais. | 24 |
| Figura 15 - Variação dos valores de pH entre os pontos amostrais..... | 24 |
| Figura 16 - Variação dos valores de sólidos totais dissolvidos entre os pontos amostrais..... | 25 |
| Figura 17 - Variação dos valores da condutividade elétrica entre os pontos amostrais | 26 |
| Figura 18 - Abundância dos ânions por ponto amostral..... | 27 |
| Figura 19 - Predominância dos ânions em porcentagem..... | 27 |
| Figura 20 - Concentrações médias de fluoreto por ponto amostral..... | 28 |
| Figura 21 - Concentrações médias de cloreto por ponto amostral. | 28 |
| Figura 22 - Concentrações médias de nitrato por ponto amostral. | 29 |
| Figura 23 - Concentrações médias de sulfato por ponto amostral..... | 29 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Sistemas aquíferos e suas respectivas profundidades de ocorrência. Fonte: Araujo (2016)..... | 8 |
| Tabela 2 - Classificação do tipo de água subterrânea em relação à concentração de STD, segundo Mcneely <i>et al.</i> (1979). | 10 |
| Tabela 3 - Informações referentes aos pontos amostrais. | 17 |
| Tabela 4 - Concentração da solução padrão utilizada. | 22 |
| Tabela 5 - Valores dos parâmetros físico-químicos medidos in situ. | 23 |
| Tabela 6 - Concentração média de ânions dissolvidos nas amostras das águas subterrâneas e valores de referência (CONAMA 396/2008). | 26 |

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------------------|------|
| AGRADECIMENTOS | iv |
| EPIGRAFE | v |
| RESUMO | vi |
| ABSTRACT | vii |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES | viii |
| LISTA DE TABELAS | ix |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 3 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 3 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 3.1 CICLO HIDROLÓGICO | 4 |
| 3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS..... | 5 |
| 3.3 GESTÃO AMBIENTAL E DE RECURSOS HÍDRICOS | 6 |
| 3.3.1 Legislação Aplicada às Águas Subterrâneas | 6 |
| 3.4 HIDROGEOLOGIA | 7 |
| 3.5 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA..... | 8 |
| 3.5.1 Parâmetros Físico-Químicos | 9 |
| 3.5.1.1 Condutividade Elétrica | 9 |
| 3.5.1.2 Potencial Hidrogeniônico | 9 |
| 3.5.1.3 Sólidos Totais Dissolvidos | 10 |
| 3.5.1.4 Temperatura | 10 |
| 3.5.2 Íons Dissolvidos – Ânions | 11 |
| 3.5.2.1 Cloreto | 11 |
| 3.5.2.2 Fluoreto..... | 11 |
| 3.5.2.3 Fosfato | 12 |
| 3.5.2.4 Nitrato | 12 |

| | |
|---------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.2.5 Sulfato..... | 13 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 14 |
| 4.1 ÁREA DE ESTUDO..... | 14 |
| 4.2 CLIMATOLOGIA | 15 |
| 4.3 PROCEDIMENTO DE CAMPO..... | 16 |
| 4.3.1 Cuidados para Amostragem | 16 |
| 4.3.2 Amostragem de Água Subterrânea | 16 |
| 4.4 ANÁLISE LABORATORIAL..... | 20 |
| 5 RESULTADOS | 23 |
| 5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS | 23 |
| 5.2 ÍONS DISSOLVIDOS – ÂNIONS | 26 |
| 6 DISCUSSÃO | 30 |
| 6.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS | 30 |
| 6.1.1 Condutividade Elétrica..... | 30 |
| 6.1.2 Potencial Hidrogeniônico..... | 30 |
| 6.1.3 Sólidos Totais Dissolvidos..... | 31 |
| 6.1.4 Temperatura..... | 31 |
| 6.2 ÍONS DISSOLVIDOS – ÂNIONS | 32 |
| 6.2.1 Cloreto..... | 32 |
| 6.2.2 Fluoreto | 33 |
| 6.2.3 Fosfato | 34 |
| 6.2.4 Nitrato | 34 |
| 6.2.5 Sulfato | 36 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 37 |
| REFERÊNCIAS | 39 |

1 INTRODUÇÃO

A água representa um dos recursos naturais mais importantes à vida, sendo o único que apresenta uma quantidade quase constante no planeta, graças ao ciclo hidrológico (Miranda *et al.* 2010; Paz *et al.* 2000). Cerca de 75% da superfície do planeta é ocupada por água, com os oceanos compreendendo aproximadamente 97% deste total. Sendo assim, apenas 3% da água é doce, e, portanto, potável ou passível da utilização humana (Von Sperling, 1996) sem a necessidade de aproveitamento da água salgada, a partir de processos como a dessalinização.

A água doce, distribuída entre os continentes, encontra-se em maior parte (68,9%) congelada na forma de calotas polares e geleiras, em águas subterrâneas (29,9%), e em menor quantidade na superfície ou outros reservatórios (1,2%) (Tundisi & Tundisi, 2008 *apud* Shiklomanov, 1998). As águas subterrâneas representam, portanto, uma alternativa viável para utilização em grandes centros urbanos ou pequenas comunidades por apresentar vantagens práticas e econômicas quanto à sua captação por meio de poços tubulares, a exemplo da Amazônia (Azevedo, 2006).

O Nordeste Paraense é a região do Norte brasileiro que se encontra mais suscetível à contaminação por agrotóxicos e nutrientes devido aos avanços de diversas monoculturas, com destaque para os plantios de soja e cítricos (Gomes & Barizon, 2014). A captação de água subterrânea, quando realizada por técnicas inadequadas de construção de poços, por exemplo, fragilizam o solo e, conseqüentemente, aumentam o risco à contaminação das águas dos aquíferos. A contaminação de águas subterrâneas pode, além de alterar as propriedades físico-químicas da água, transformá-la em um veículo de transmissão de doenças.

As águas subterrâneas tendem, naturalmente, a apresentar excelente qualidade para os mais diversos usos (Albuquerque Filho *et al.* 2011), considerando as características ambientais e geológicas do aquífero em que se encontra armazenada. Contudo, as ameaças a essa qualidade não se restringem apenas à contaminação por agrotóxicos, mas também pela alteração química e microbiológica por chorumes de cemitérios (Santos *et al.* 2015), rebaixamento do lençol freático e alterações no regime hidrológico dos cursos d'água e dos aquíferos pela mineração (Mechi & Sanches, 2010), e pelo armazenamento subterrâneo de gasolina em postos de combustíveis (Yamada, 2004).

Uma vez que o abastecimento na Região Norte é em grande parte realizado a partir de águas subterrâneas (Souza, 2010), faz-se necessário a realização de estudos

hidrológicos para se obter um quadro da qualidade da água do aquífero explotado, no Nordeste Paraense, assim como realizar um acompanhamento deste. A qualidade da água, segundo Von Sperling (1996), é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem, ou seja, é determinada em função da ocupação do solo na bacia hidrográfica.

A Resolução CONAMA nº 396/2008 trata a respeito da qualidade das águas subterrâneas para os seus determinados fins, e estabelece padrões de qualidade e valores máximo permitidos, por lei. Portanto, a partir do estudo da presença e determinação das concentrações dos ânions (fosfato e nitrato, por exemplo), bem como com a comparação entre os valores, pode-se inferir a influência antrópica, ou não, sobre o corpo hídrico.

O Brasil apresenta carência de redes de monitoramento de qualidade de águas subterrâneas (ANA, 2005). Sendo assim, com a realização desse estudo, espera-se contribuir não somente como uma base de dados para futuros trabalhos a respeito de águas subterrâneas do Nordeste Paraense, mas como um instrumento para dar suporte às estratégias, ações preventivas e políticas de uso, proteção e conservação do recurso hídrico subterrâneo, os quais são previstos no Plano Nacional de Recursos Hídricos estabelecido pela Lei nº 9.433/97 (MMA, 1997), no âmbito da gestão ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar, de forma preliminar, a qualidade das águas subterrâneas dos aquíferos relacionados às formações geológicas Pós-Barreiras, Barreiras e Pirabas, a partir da concentração dos ânions dissolvidos e parâmetros físico-químicos básicos nos municípios de Bragança, Capitão Poço e Salinópolis, Nordeste Paraense.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o levantamento bibliográfico sobre as condições da área de interesse;
- Avaliar *in situ* a qualidade da água quanto aos seus parâmetros físico-químicos básicos (Condutividade, pH e Sólidos Totais Dissolvidos);
- Definir o melhor método analítico para análise da composição iônica em amostras de água;
- Determinar e quantificar a composição iônica (ânions) em amostras de água subterrânea;
- Comparar os resultados obtidos com os valores estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº 396/2008).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico (Figura 1), também chamado de ciclo da água, é o fenômeno de movimento contínuo e global de circulação fechada da água entre a atmosfera e a superfície terrestre. Toda essa circulação é, por sua vez, impulsionada pelas energias gravitacional e solar, que possui mecanismos que possibilitam a movimentação da água tanto na superfície terrestre, quanto na atmosfera, em todos os seus estados físicos, sendo os principais: (1) a evapotranspiração, (2) a precipitação, (3) escoamento superficial, e (4) a infiltração (Von Sperling, 1996).

- (1) A evapotranspiração é dada pela transferência da água para o meio atmosférico através da evaporação (estado líquido da água superficial para o estado gasoso), ou pela transpiração (a água retirada do solo pela vegetação é evaporada).
- (2) A precipitação compreende toda a água que cai da atmosfera na superfície terrestre, sendo ela na forma de chuva, granizo ou neve.
- (3) O escoamento superficial nada mais é do que o escoamento da água sobre o terreno, em superfície, formando córregos, lagos e rios, e eventualmente chegar no mar.
- (4) A infiltração corresponde à água que atinge e infiltra o solo, formando os lençóis d'água.

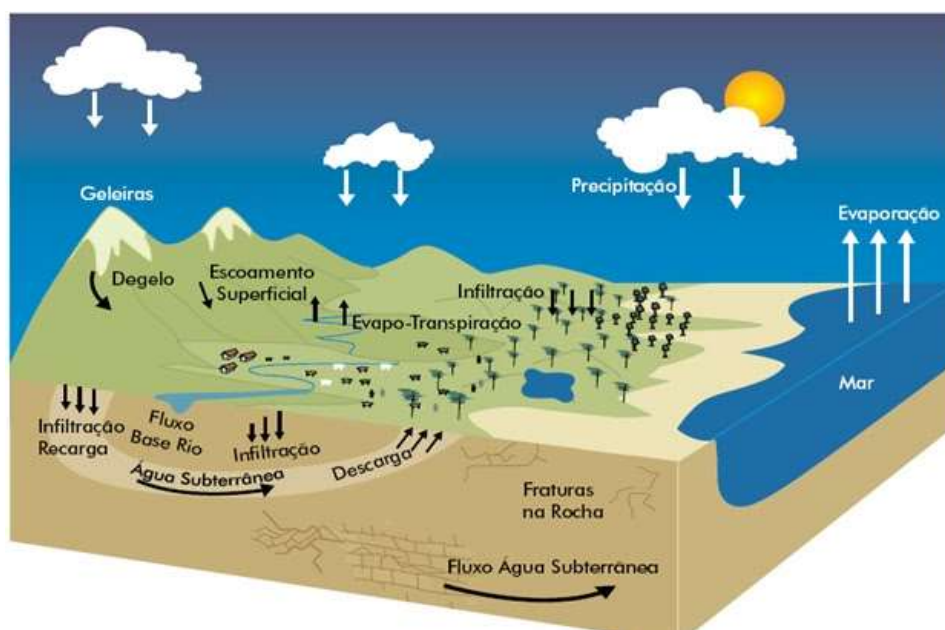


Figura 1 - Ciclo hidrológico. Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA)

3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas são corpos hídricos que ocorrem em formações geológicas, cujas características litológicas, naturais, são apropriadas para o armazenamento da água, e capaz de transmiti-la em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos: os aquíferos (ANA, 2016). As águas subterrâneas tornam-se disponíveis ao uso humano principalmente a partir da perfuração de poços. Podem também aflorar na forma de fontes quando a superfície do terreno intercepta o lençol freático (Nanes *et al.* 2012).

Essa água proveniente da atmosfera, que infiltra o solo a partir do ciclo hidrológico forma os lençóis d'água, cujo movimento é dado de acordo com as condições das rochas hospedeiras (Ribeiro *et al.* 2007). São grandemente responsáveis pela alimentação dos corpos d'água em superfície.

Os aquíferos podem ser classificados em confinados e não-confinados (livres), de acordo com suas características litológicas (Figura 2). A água do aquífero, só poderá sofrer recarga (em condições naturais ou por intermédio antrópico) dependendo do tipo do aquífero em que estiver armazenada. Segundo Tucci (2001), os aquíferos confinados são geralmente aquíferos de grande produção, enquanto que os aquíferos livres são os mais explorados devido ao fácil acesso.

Segundo Ribeiro *et al.* (2007), a composição físico-química da água subterrânea é o produto resultante do enriquecimento mineral de águas provenientes do ciclo hidrológico e de seu tempo de residência na rocha hospedeira. As diferentes composições das rochas hospedeiras e dos processos de mineralização resultam na diversidade composicional das águas subterrâneas.

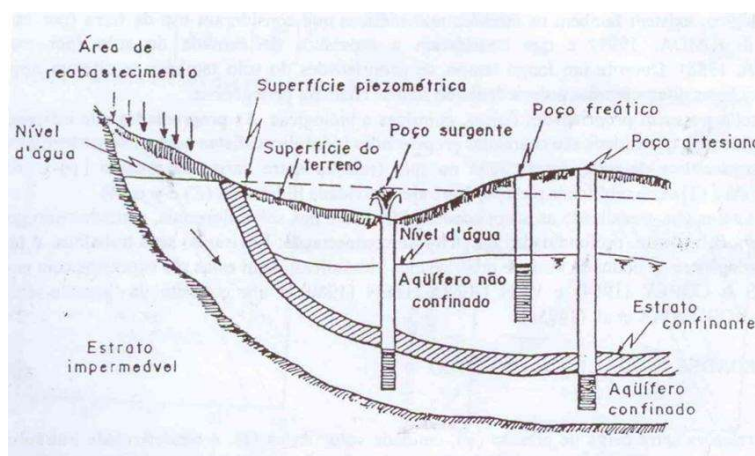


Figura 2 - Aquíferos confinados e livres. Fonte: Todd (1967)

3.3 GESTÃO AMBIENTAL E DE RECURSOS HÍDRICOS

Durante o tempo de existência do ser humano no planeta, muitos são os fatos relatados na história em que o descaso do homem com os recursos naturais desencadeou em impactos ambientais de diversas magnitudes, seja pela extinção de espécies da biota marinha e terrestre, ou pela contaminação atmosférica e hídrica (Martens & McMichael, 2002; Silva *et al.* 2017; WCED, 1987).

Devido aos episódios ocorridos que repercutiram globalmente, como a “Névoa Matadora” em Londres e o Desastre de Minamata no Japão (Pott & Estrela, 2017), a partir da década de 60 viu-se a necessidade de estabelecer medidas que estreitassem a relação entre o desenvolvimento industrial e econômico com a minimização dos efeitos negativos das atividades no ambiente, de modo a manter um meio ambiente de qualidade, caminhando à gestão ambiental (Tinoco & Robles, 2006). Sendo assim, o pensamento antropocêntrico mundial tendeu à uma mudança para o ecocentrismo, onde a ideia de ética para com a terra e bom gerenciamento do meio ambiente são elementos chave dessa filosofia (Ruppenthal, 2014).

Com os olhares voltados para a gestão ambiental, eventos de abrangência internacional foram realizados para tratar dos assuntos ambientais, como a I Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente, ou Conferência de Estocolmo (1972), a qual contou com a participação do Brasil. Nestes eventos, o Brasil sempre foi alvo de interesses dos países desenvolvidos por suas grandes reservas de água potável, assim como por abranger grande parte da biodiversidade do planeta (Costa *et al.* 2012).

Após a Conferência de Estocolmo, o Brasil foi incluído no grupo de países responsáveis pela proteção dos seus recursos, lançando políticas ambientais propostas pela conferência (Lago, 2007).

3.3.1 Legislação Aplicada às Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas são objetos legais (previstos em lei), desde antes da Constituição Federal de 1988. Já em 1934, foi estabelecido o Código de Águas, o qual as incluía como um bem associado à propriedade da terra, ou seja, os proprietários eram donos do solo e tudo que nele estava presente, incluindo as águas subterrâneas.

Em 1967, o Código de Mineração (Decreto-Lei 227/67; regulamentado por Decreto 62.934/68) instituiu mudanças quanto às águas subterrâneas, dispondo sobre medidas reguladoras tendentes à preservação das águas subterrâneas.

Na Constituição Federal de 1988, por sua vez, as águas subterrâneas foram incluídas como bens do Estado, ou seja, um bem público, fiscalizadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS). A inclusão na Constituição Federal representa mais uma garantia da preservação das águas subterrâneas, uma vez que compõem um Direito Fundamental, ou seja, direito que constitui a base do desenvolvimento com dignidade, sendo um direito humano positivado (que está escrito em lei), havendo então a necessidade de políticas públicas e planejamento para tal. Aplica-se sobre as águas subterrâneas, ainda, o Princípio do Meio Ambiente Equilibrado, direito intergeracional que prevê ao Estado a preservação do recurso natural para as gerações atuais e futuras.

A Lei 9.433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos que tem como objetivos a utilização racional e dentro de parâmetros de qualidade adequados aos respectivos usos. Em 2001 foi criada a Lei 6.381/01 (Lei Estadual das Águas), que após a PNRH, estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos, cujos objetos são águas superficiais, subterrâneas e meteóricas, com os mesmos objetivos da Lei 9.344/97.

A Resolução CONAMA nº 396/08 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, bem como a prevenção e controle da poluição que possa ocorrer nestas. Nessa resolução, a classificação das águas subterrâneas é dada em função da qualificação das águas subterrâneas em função de padrões de qualidade que possibilite o seu enquadramento.

3.4 HIDROGEOLOGIA

Para se fazer um estudo da qualidade e contaminação de um aquífero, deve-se considerar as características gerais da rocha armazenadora, afim de se obter as condições iniciais e ambientais do aquífero (Ribeiro *et al.* 2007); e para tal, utiliza-se de um levantamento hidrogeológico da área de interesse.

Araújo *et al.* (2016) insere o Nordeste Paraense no contexto geológico das coberturas Cenozóicas, composta por Sedimentos Recentes e do Pós-Barreiras, e litotipos do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas, cujas profundidades de ocorrências e caracterização encontram-se na Tabela 1 e Figura 3.

Tabela 1 - Sistemas aquíferos e suas respectivas profundidades de ocorrência. Fonte: Araújo (2016)

| Sistemas Aquíferos | Profundidade de Ocorrência (m) |
|---------------------|--------------------------------|
| Sedimentos Recentes | 0 a 20 |
| Grupo Barreiras | 0,8 a 24 |
| Formação Pirabas | 10 a 70 |

| ERA | PERÍODO | ÉPOCA | UNIDADE GEOLÓGICA | DESCRIÇÃO |
|-----------|-------------|---------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CENOZÓICA | QUATERNÁRIO | Holoceno | Sedimentos Recentes | Sedimentos inconsolidados constituídos por areias quartzosas, às vezes, contendo matéria orgânica; argilas, argilas orgânicas e siltes intercalados, distribuídos nos leitos dos igarapés. |
| | | Pleistoceno | Formação Pós-Barreiras | Sedimentos inconsolidados areno-argilosos a argilo-arenosos, coloração amarelada a avermelhada, granulação variando de fina a média, com grânulos de quartzo e blocos de arenitos ferruginosos. |
| | TERCIÁRIO | Mioceno/Pleistoceno | Grupo Barreiras | Sedimentos siliciclásticos representados por argilas, siltes arenitos, leitos conglomeráticos, com baixo grau de compactação e coloração variegada. Podem apresentar nódulos e concreções ferruginosas. |
| | | Mioceno/Oligoceno | Formação Pirabas | Calcário, argila e areia com leitos alternados, sendo às vezes muito fossilífero. Algumas fácies com argilas negras apresentando vegetais piritizados e carcinólitos. Outras fácies com calcários puros e compactados com teores elevados de SiO ₂ e MgO. |

Figura 3 - Caracterização das unidades geológicas ocorrentes no Nordeste Paraense. Fonte: Saldanha (2009) modificado por Cunha (2017).

Considerando as características litológicas das unidades geológicas e suas proximidades da superfície tem-se que o Aquífero Pós-Barreiras é o mais vulnerável à contaminação, embora normalmente apresente águas de boa qualidade para consumo humano (Cabral, 2004). O Aquífero Barreiras também apresenta, normalmente, águas de boa qualidade, podendo haver uma concentração de ferro maior do que o recomendado para consumo humano. O Aquífero Pirabas é o que apresenta a melhor qualidade das suas águas para consumo humano, não havendo restrições para o consumo humano (Rodrigues, 2016).

3.5 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Segundo Von Sperling (1996), a qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Dependendo da utilização da água subterrânea, seja para consumo humano

ou irrigação, observam-se valores de referência diferentes para os parâmetros físicos, químicos e biológicos.

No presente trabalho, foram consideradas as variáveis físicas e químicas, onde os resultados quando interpretados associadamente, possibilitam uma análise preliminar, mas confiável, do corpo hídrico em estudo.

Dentre os parâmetros físico-químicos mais estudados, a Resolução CONAMA nº 396/2008 exige que pelo menos os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) sejam considerados para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes, em função dos usos preponderantes.

3.5.1 Parâmetros Físico-Químicos

3.5.1.1 Condutividade Elétrica (CE)

A Condutividade Elétrica é a capacidade que uma água tem de conduzir corrente elétrica, estando diretamente relacionada a outros parâmetros, como a salinidade, os sólidos totais dissolvidos e a temperatura. Quanto maior for a concentração dos íons numa amostra, maior será a sua capacidade de conduzir eletricidade (Mendonça, 2016). A Condutividade pode, ainda, representar uma alternativa para medidas indiretas da concentração de poluentes, quando apresenta valores acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando um ambiente impactado (CETESB, 2016).

3.5.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH está relacionado à concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala logarítmica) quanto à presença de íons hidroxila (OH^-) no ambiente. Numa escala de 0 a 14, essa relação indica se o meio é ácido (pH inferior a 7), neutro (pH igual a 7) ou básico (pH superior a 7).

O valor do pH é tido a partir da dissociação da molécula de água, cuja concentração das moléculas que a constitui é fortemente influenciada por sais, ácidos e bases presentes no meio, oriundos do intemperismo das rochas da bacia hidrográfica, da interação com a atmosfera, e/ou da atividade biológica e antropogênica, as quais podem alterar as concentrações de dióxido de carbono presentes no meio (Esteves, 1998; Von Sperling, 1996).

O estudo do pH tem grande importância, uma vez que este influencia diretamente na solubilidade de nutrientes e/ou na precipitação e imobilização de contaminantes químicos, como metais pesados (CETESB, 2016). Torna-se, então,

imprescindível o monitoramento deste parâmetro para as mais diversas utilizações da água, seja em ambientes cujas condições necessitam ser naturais para a biota aquática e terrestre, ou para o consumo humano.

3.5.1.3 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

É a concentração do material dissolvido na água. Segundo o CCME (2003, *apud* Mullins 1977; Pagenkopf 1978; Stumm & Morgan 1970), os principais ânions que compreendem os STD são os carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos e nitratos. Ressalta a necessidade do estudo deste parâmetro, uma vez que a concentração dos ânions que o constitui determina o potencial de solubilidade, complexação e precipitação de solutos que possam sofrer especiação, removendo-os do ambiente, mesmo em concentrações traço.

A partir dos valores de STD, pode-se classificar as águas quanto aos seus determinados usos. Mcneely *et al.* (1979) classificam as águas subterrâneas em três tipos segundo a concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação do tipo de água subterrânea em relação à concentração de STD, segundo Mcneely *et al.* (1979).

| Tipos de Água | Sólidos Totais Dissolvidos (µg/L) |
|-----------------------|------------------------------------------|
| Doce | < 1.000 |
| Ligeiramente Salobra | 1.000 – 3.000 |
| Moderadamente Salobra | 3.000 – 10.000 |

3.5.1.4 Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes ao se analisar amostras de água, sejam elas superficiais ou subterrâneas, pois tem implicações diretas e indiretas na distribuição biológica dos organismos, assim como na determinação e dinâmica física e reações químicas do ambiente aquático.

Segundo Carmo (2014), a temperatura da água é utilizada no cálculo de determinação de diversas variáveis, como a pressão atmosférica, e interfere no cálculo da alcalinidade, salinidade, pH, saturação de oxigênio dissolvido, e na toxicidade de elementos ou substâncias.

3.5.2 Íons Dissolvidos – Ânions

Os nutrientes, segundo Andrade (2009), representam uma das principais fontes de contaminação difusa tanto das águas superficiais quanto das águas subterrâneas, principalmente quando associados às atividades de agricultura. A Resolução CONAMA nº 396/2008 exige que pelo menos o Nitrato seja considerado para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes, em função dos usos preponderantes.

3.5.2.1 Cloreto (Cl^-)

Todas as águas naturais, com maior ou menor escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais, tais como o cloreto, que é advindo da dissolução de sais. Em águas subterrâneas esse ânion está presente em teores inferiores a 100 mg/L, sendo proveniente da percolação da água entre os solos e rochas, ou da intrusão da cunha salina em corpos hídricos, principalmente em regiões costeiras (Von Sperling, 1996; Zimbres, 2000).

A salinidade é composta por um compilado de sais, dentre os quais o cloreto é um dos mais representativos, e por apresentar propriedades conservativas e facilmente se deslocar na solução quando adicionado ao solo, pode atingir facilmente as águas subterrâneas alterando o padrão de qualidade das mesmas, as salinizando (Fernandes *et al.* 2005; Andrade *et al.* 2009).

O cloreto pode ocorrer também a partir de fontes antrópicas, como despejos domésticos, industriais e de águas utilizadas em irrigação (Andrade, 2009), que além de atribuir sabor salgado à água, pode desencadear problemas de saúde pública, quando associado a outros nutrientes, dependendo da fonte de contaminação.

3.5.2.2 Fluoreto (F^-)

Segundo Fraga (1992), o flúor é o mais eletronegativo e o mais leve elemento da família dos halogênios, e o 13º elemento mais abundante da crosta terrestre. É considerado como um elemento raro, uma vez que é derivado do intemperismo das rochas ígneas, tendo suas fontes naturais associadas à presença de fluidos hidrotermais. Nas águas, é encontrado na forma de fluoreto.

Nas águas subterrâneas, as concentrações mais elevadas do fluoreto são encontradas em ambientes com pH neutro a alcalino. Fraga (1992) se refere à ordem de 10 a 20 mg/L de fluoreto para valores de pH iguais e/ou superiores a 7,5 a 8,0. Em

ambientes de pH iguais ou inferiores a 3,5, tem-se o predomínio da espécie química ácido fluorídrico (HF).

3.5.2.3 Fosfato (PO_4^{3-})

O fósforo é um macronutriente essencial nos sistemas biológicos, participando em processos fundamentais dos seres vivos, como no armazenamento de energia e na estruturação da membrana celular, através dos fosfolipídios (Esteves, 1998). Pela sua importância fisiológica, o fósforo se destaca por ser o principal agente eutrofizante do meio aquático (Diemer *et al.* 2014), modificando as características físico-químicas do ambiente e consumindo excessivamente as concentrações de oxigênio dissolvido, implicando muitas vezes na perda da biota local.

O fosfato é a forma mais comumente encontrada desse nutriente, e na água pode ter origem natural e antrópica; pela dissolução de compostos do solo ou decomposição da matéria orgânica, ou por despejos domésticos e industriais, assim como pelo uso de fertilizantes (Von Sperling, 1996). A realização de estudos relacionados a esse nutriente é necessária, uma vez que presença de fosfatos na água indica a possibilidade de contaminação do aquífero por águas contaminadas ou residuais (Rodríguez *et al.* 2016).

3.5.2.4 Nitrato (NO_3^-)

A introdução do nitrato no ambiente aquático pode ser dada através de diversas fontes, tanto naturais quanto antrópicas; pela fixação do nitrogênio atmosférico por algas e bactérias, bem como o lançamento de esgotos sanitários em corpos hídricos são alguns exemplos. Quando por fontes antrópicas, também são introduzidos outros íons que atuam como nutrientes para os processos biológicos, assim como o nitrogênio, provocando a eutrofização do corpo aquático (CETESB, 2016).

Os altos índices pluviométricos, associados às características pedológicas de uma região cuja introdução de compostos nitrogenados seja considerada, podem aumentar os riscos de contaminação de águas subterrâneas por nitrato (Oliveira, 1993), bem como é a região amazônica, e do Nordeste Paraense. Estudos realizados anteriormente por UFC (1993), Andrade *et al.* (2009) e Oliveira (1993) reportam a influência do tipo de solo em relação à frequência de irrigação deste, e a presença de compostos nitrogenados no perfil sedimentar, por onde as águas percolaram. Segundo Andrade *et al.* (2009 *apud* Correa *et al.* 2006; Phillips & Burton, 2005), um perfil sedimentar com a predominância da textura arenosa, quando associado a uma elevada

dotação de água, apresenta uma maior lixiviação dos íons, quando comparado à textura argila e silte.

A contaminação de águas subterrâneas por nitrato é uma realidade no Brasil, seja por efluentes domésticos ou industriais, e estudos como o de Costa *et al.* (2016) foram realizados para divulgar os problemas de saúde pública que as altas concentrações de nitratos e nitritos podem desencadear, como a incidência de câncer no estômago e esôfago, e a metahemoglobinemia, comumente conhecida como “síndrome do bebê azul”.

3.5.2.5 Sulfato (SO_4^{2-})

O enxofre é um dos mais abundantes íons na natureza, onde dentre suas várias formas, o sulfato é uma das mais frequentes e a mais importante na produtividade do ecossistema (Esteves, 1998). Suas principais fontes são a dissolução de solos e rochas, a oxidação de sulfetos, as chuvas e a agricultura (CETESB, 2016; Esteves, 1998).

Nas águas subterrâneas a concentração de sulfato é baixa (< 30 mg/L), podendo ser mais elevada próximo de rochas evaporíticas e sedimentares que contribuam com sulfato, carbonato e fosfato, ou em regiões litorâneas e industriais (Celligoi, 1999; Esteves, 1998; Tundisi & Tundisi, 2008).

O sulfato como ácido orgânico altera a composição química da água da chuva e tem efeitos deletérios sobre as águas superficiais e subterrâneas (Tundisi & Tundisi, 2008). O excesso desse íon pode causar efeitos laxativos e na presença de magnésio e sódio pode provocar distúrbios gastrointestinais (Terrel, 2007 *apud* Santos, 2000)

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a mesorregião do Nordeste Paraense (Figura 4), que é dividida em cinco microrregiões (Bragantina, Cametá, Guamá, Salgado e Tomé-Açu). Para este trabalho, foram consideradas as microrregiões Bragançana, Guamá e Salgado, mais especificamente os municípios de Bragança, Capitão Poço e Salinópolis, respectivamente. Tais municípios foram escolhidos para amostragem dadas as suas relevâncias no setor turístico, agrícola e da pesca para o estado do Pará, e a utilização de água subterrânea para os seus devidos fins.

O município de Bragança, situado entre as coordenadas 1°03'30,55"S e 46°46'21,97"O, tem uma população estimada em 124.184 pessoas (IBGE, 2017). Possui grande importância no setor pesqueiro paraense, onde é responsável pelo segundo maior desembarque de pescado do Estado, superado apenas por Belém (Furtado Junior *et al.* 2006). Neste município, a exploração é marcada pelo imediatismo consumista, com o predomínio do descontrole e o uso de mecanismos inadequados de exploração, acarretando riscos à qualidade e ao consumo da água subterrânea (Amorim, 2000).

O município de Capitão Poço, situado entre as coordenadas 1°44'53,55"S e 47°03'48.04"O, tem uma população estimada em 52.839 pessoas (IBGE, 2017). Possui grande importância no setor agrícola, principalmente na produção de cítricos, onde essa atividade representa um potencial risco ao aquífero no qual a água é explorada, caso se tenha o uso (inadequado) de fertilizantes e dos agrotóxicos comumente empregados neste ramo da agricultura, como os pesticidas atrazina, glifosato, diuron, hexazinona, 2,4-D etiona, fenpropatrina, difenoconazole, triclofon, clorpirifos, bifentrina, diazinona, metidationa, dentre outros (Araújo *et al.* 2011).

O município de Salinópolis, situado entre as coordenadas 0°37'22,37"S e 47°20'48.78"O, tem uma população estimada em 39.569 pessoas (IBGE, 2017). Assim como grande parte das cidades litorâneas brasileiras, a cidade de Salinas vem sofrendo com a grande pressão imposta pelos modelos de crescimento urbano (França, 2008), devido ao grande polo turístico e de veraneio a qual representa. Nos períodos de alta temporada do veraneio (dezembro a janeiro e junho a julho), sua população chega a 280 mil veranistas (G1, 2012). A captação e distribuição da água no município é feita a partir de água subterrânea, e por se tratar de um grande atrativo turístico, faz-se necessário o monitoramento da qualidade do aquífero explorado.

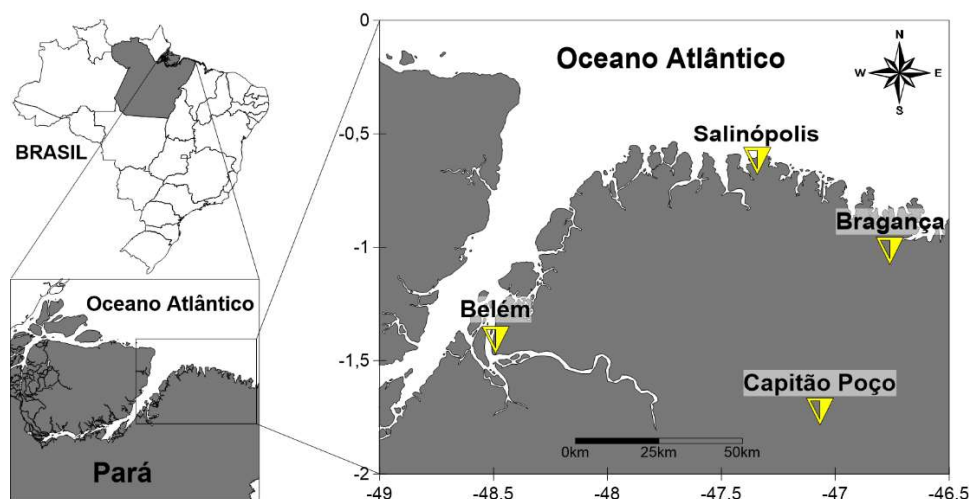


Figura 4 - Mapa do Nordeste Paraense, e a localização dos municípios que compõem a área de estudo.

4.2 CLIMATOLOGIA

O Nordeste Paraense é a mesorregião do estado com o maior índice pluviométrico ao longo do ano, isso devido à associação de sistemas climáticos ambientais tanto locais como de grande escala, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Lopes *et al.* 2013), até sistemas de escala global, como El Niño e La Niña (Araújo *et al.* 2013).

A classificação climática universalmente mais utilizada é a de Köppen (1948), a qual considera as características climáticas e biogeográficas de uma região. Segundo esta, o clima do Nordeste Paraense, para a presente área de estudo, é classificado como “Am”, ou “Clima Tropical de Monção” (Cordeiro *et al.* 2017). Possui dois períodos pluviométricos: um mais chuvoso (dezembro a maio) e um menos chuvoso (junho a novembro).

O termo “Am” representa a característica térmica e a distribuição sazonal de precipitação, onde:

- A = Clima tropical chuvoso, caracterizado por apresentar temperatura média mensal sempre superior a 18°C;
- m = Monção, com breve estação seca e ocorrência de precipitação média mensal inferior a 60 mm.

4.3 PROCEDIMENTO DE CAMPO

4.3.1 Cuidados para Amostragem

As amostras de águas subterrâneas foram coletadas seguindo as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de Água (CETESB/ANA, 2011).

Foram utilizadas garrafas de polietileno de 500 mL, deixadas previamente em banho com solução ácida de HCl (10%) por 48 horas, de modo a retirar qualquer contaminante presente nas garrafas que pudesse interferir na análise e comprometer os resultados obtidos, e posteriormente lavadas com água deionizada.

Durante a coleta, todos os frascos foram ambientados com três lavagens consecutivas com a própria amostra de água. Os frascos identificados previamente foram completados com as amostras, evitando-se a formação de bolhas. Em cada um dos pontos de amostragem foram coletadas três réplicas, totalizando 18 triplicatas referentes aos dois pontos de coleta em cada município da área de estudo.

Com o auxílio de um Analisador Multiparâmetros da marca HANNA HI 991301, previamente calibrado, foram medidos *in situ* os parâmetros físico-químicos: Condutividade Elétrica, pH, Sólidos Totais Dissolvidos e Temperatura.

Durante o procedimento de campo, todas as amostras foram devidamente acondicionadas em caixas de isopor preenchidas totalmente com gelo, e então levadas ao Laboratório de Oceanografia Química (LOQ), na Universidade Federal do Pará (UFPA), onde foram mantidas em refrigerador até o momento da análise.

4.3.2 Amostragem de Água Subterrânea

As coletas das amostras foram realizadas em meses diferentes, sendo no município de Salinópolis no dia 05 de janeiro de 2018, e nos municípios de Capitão Poço e Bragança nos dias 06 e 07 de abril de 2018, respectivamente. Ambas as amostragens foram realizadas no mesmo período mais chuvoso (dezembro a maio) da região, não implicando em divergência quanto ao nível do lençol freático. Para cada município foram escolhidos dois pontos de amostragem (Tabela 3).

Tabela 3 - Informações referentes aos pontos de amostragem.

* sdr = sem dados de referência

| Pontos de Amostragem | Coordenadas Geográficas | Data da Coleta | Profundidade do Poço (m) |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|
| Fonte do Caranã (Salinópolis) | 00°37'00,12"S 47°21'09,84"W | 05/01/2018 | sdr* |
| Sede COSANPA (Salinópolis) | 00°37'17,91"S 47°21'15,72"W | 05/01/2018 | 154 |
| Sítio Particular (Capitão Poço) | 01°40'30,96"S 47°02'23,25"W | 06/04/2018 | ~ 30 |
| Residência Local (Capitão Poço) | 01°40'22,2"S 47°03'45,5"W | 06/04/2018 | ~ 30 |
| Residência Local (Bragança) | 01°03'31,5"S 46°46'22,0"W | 07/04/2018 | 22,5 |
| Sede SIACA (Bragança) | 00°59'52,9"S 46°43'11,2"W | 07/04/2018 | 30 |

A primeira coleta foi realizada no município de Salinópolis, na Fonte do Caranã (Figura 5) às 11h50min. Situada entre as coordenadas 0°37'00,12"S e 47°21'09,84"O, é uma fonte pública de água natural, de manancial subterrâneo, utilizada pela população local para diversos fins, seja para consumo próprio ou atividades domésticas. Sobre esta, não foram encontradas informações a respeito da profundidade do manancial subterrâneo.



Figura 5 - Fonte pública de água que jorra naturalmente de manancial subterrâneo.

A segunda coleta, ainda no município de Salinópolis, foi realizada no poço da Rede de Distribuição d'Água da Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA

(Figura 6) às 12h16min, de 154 metros de profundidade. Situado entre as coordenadas $0^{\circ}37'17,91''S$ e $47^{\circ}21'15,72''O$, é o órgão responsável pela distribuição da água para o município, cuja água é proveniente do aquífero do município.



Figura 6 - Torneira d'água com captação direta do aquífero subterrâneo.

A terceira coleta foi realizada no município de Capitão Poço, em um sítio particular (Figura 7) às 18h49min. Neste ponto, situado entre as coordenadas $01^{\circ}40'30,96''S$ e $47^{\circ}02'23,25''O$, há também a presença de um balneário cujo aporte d'água para o corpo aquoso é proveniente do mesmo aquífero explorado para as atividades domésticas do sítio.



Figura 7 - Poço artesiano construído no Sítio Particular para captação da água subterrânea.

A quarta coleta, ainda no município de Capitão Poço, foi realizada em uma residência localizada na Comunidade Cubiteua (Figura 8) às 18h59min. Situada entre as

coordenadas $01^{\circ}40'22,2''$ e $47^{\circ}03'45,5''$ O, a residência se localiza próximo a uma plantação de frutas cítricas, cuja água utilizada na plantação é subterrânea.



Figura 8 - Estrutura de bombeamento da água subterrânea para a Residência Local.

A quinta coleta foi realizada no município de Bragança, em uma residência no bairro da Taira (Figura 9), da cidade de Bragança, às 10h23min. Localizada entre as coordenadas $01^{\circ}03'31,5''$ S e $46^{\circ}46'22,0''$ O, a água é obtida a partir de sistema de bombeamento e é utilizada para atividades domésticas.



Figura 9 - Estrutura de bombeamento da água subterrânea para a residência.

A sexta coleta, ainda no município de Bragança, foi realizada no Sistema de Abastecimento de Água de Caratateua – SIACA (Figura 10) às 11h36min. Localizado entre as coordenadas $00^{\circ}59'52,9''$ S e $46^{\circ}43'11,2''$ O, é o órgão responsável pela distribuição da água para a Vila de Caratateua, cuja água é proveniente do aquífero local, de 30 metros de profundidade.



Figura 10 - Caixas d'água que armazenam a água subterrânea captada para distribuição para população local.

4.4 ANÁLISE LABORATORIAL

Por se tratar de uma análise dos ânions em coluna cromatográfica, as amostras foram filtradas duas vezes, a fim de se evitar a obstrução da coluna e minimizar os possíveis erros gerados por partículas em suspensão, comprometendo as análises.

Antes de se dar início ao preparo e análise das amostras, estas tiveram que atingir a temperatura ambiente, haja vista que as mesmas estavam mantidas a baixa temperatura, em torno de 5°C.

Foram separados 100 mL de cada amostra para filtração em um sistema de filtração em polisulfona 47 mm Sterifil Millipore com filtro de celulose de 0,45 μm de porosidade e 47 mm de diâmetro (Figura 11). Posteriormente, 5 mL do material foi filtrado novamente, mas agora em filtros de nylon *syringe*, e transferidos para frascos de polietileno de 5 mL e transportados ao Laboratório de Cromatografia do Instituto de Geociências da UFPA, para análise no cromatógrafo.



Figura 11 - Sistema de filtração utilizado durante o procedimento de preparo das amostras.

A concentração dos ânions (Cl^- , F^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , SO_4^{2-}) foi determinada pelo método cromatográfico otimizado por Paranhos (2010), com cromatógrafo de íons Dionex DX-120 (Figura 12). Para a análise dos ânions utilizou-se coluna aniônica (ASRS ULTRA-AS14 Dionex), e como eluente foi utilizada uma solução 3,5 mM Na_2CO_3 /1,0 mM NaHCO_3 e fluxo $1,2 \text{ mL min}^{-1}$. Obteve-se, então, um cromatograma (Figura 13) com uma solução padrão de concentração conhecida (Tabela 4), antes de se analisar as amostras.



Figura 12 - Cromatógrafo de íons Dionex DX-120.

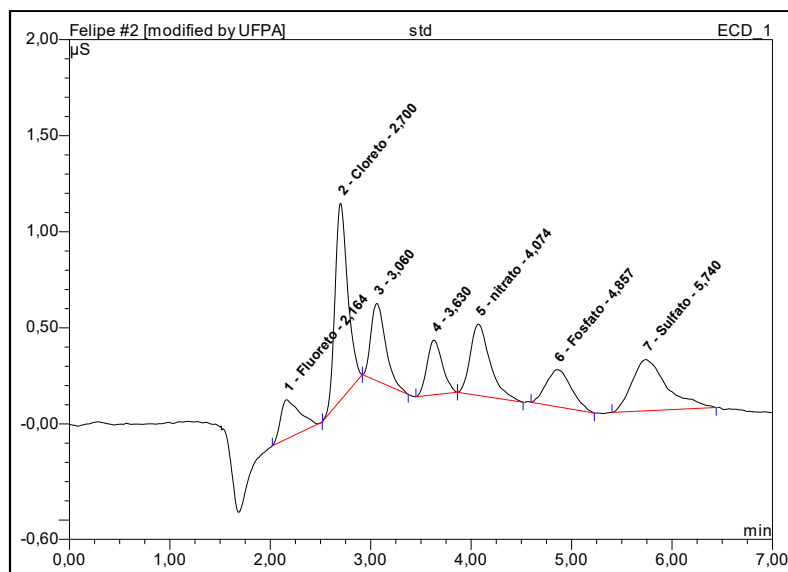


Figura 13 - Cromatograma obtido para a solução padrão (concentrações de 0,20 mg/L a 1,38 mg/L).

Tabela 4 - Concentração da solução padrão utilizada.

| Ânion | Concentração (mg/L) |
|----------|---------------------|
| Fluoreto | 0,202 |
| Cloreto | 0,921 |
| nitrato | 1,054 |
| Fosfato | 1,386 |
| Sulfato | 0,988 |

5 RESULTADOS

5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os valores obtidos para os parâmetros físico-químicos das amostras encontram-se na Tabela 5. Dentre esses parâmetros, o conteúdo de sólidos totais dissolvidos deve estar abaixo de 1.000 mg/L, para que a água seja considerada adequada para consumo humano, segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008.

Tabela 5 - Valores dos parâmetros físico-químicos medidos in situ.

| Amostras | Temperatura (°C) | pH | Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) | Condutividade Elétrica (µS/cm) |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Fonte do Caranã (Salinópolis) | 30,7 | 5,68 | 10 | 200 |
| Sede COSANPA (Salinópolis) | 28,5 | 7,91 | 18 | 350 |
| Sítio Particular (Capitão Poço) | 27,5 | 3,35 | 04 | 90 |
| Residência Local (Capitão Poço) | 26,4 | 3,25 | 04 | 70 |
| Residência Local (Bragança) | 25,0 | 3,34 | 10 | 200 |
| SIACA (Bragança) | 26,8 | 4,08 | 09 | 180 |

Dentre os parâmetros analisados, a temperatura (Figura 14) foi um dos parâmetros que, em um dos municípios de amostragem, apresentou a maior variação entre os dois pontos amostrais, sendo esta de mais de 2°C. Nos pontos amostrais em questão, do município de Salinópolis, obteve-se valores de 30,7°C na Fonte do Caranã, e 28,5°C na Sede da COSANPA. Já para os pontos amostrais do município de Capitão Poço, houve a menor variação dos valores de temperatura, na faixa de 27,5°C a 26,4°C. Nos pontos amostrais do município de Bragança, os valores de temperatura voltaram a apresentar comportamento similar ao de Salinópolis, variando em quase 2°C, na faixa de 25°C a 26,8°C.

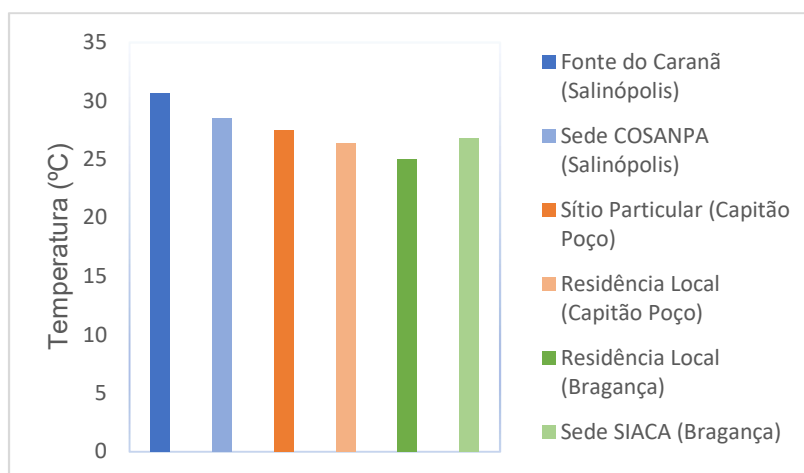


Figura 14 - Variação dos valores de temperatura entre os pontos amostrais.

Assim como a temperatura, o pH (Figura 15) foi outro parâmetro que, em um dos pontos de amostragem, apresentou variação expressiva na sua escala, entre os dois pontos amostrais, na medida de mais de 2,0 unidades. Nos pontos amostrais de Salinópolis, os valores de pH variaram de 5,68 na Fonte do Caranã, a 7,91 na Sede da COSANPA. Nos pontos amostrais do município de Capitão Poço, os valores foram mais uniformes, bem como os encontrados para a temperatura, variando de 3,35 no Sítio Particular a 3,25 na Residência. Para os pontos amostrais do município de Bragança, o pH voltou a ter uma certa variação, de 3,34 na Residência Local a 4,08 no SIACA.

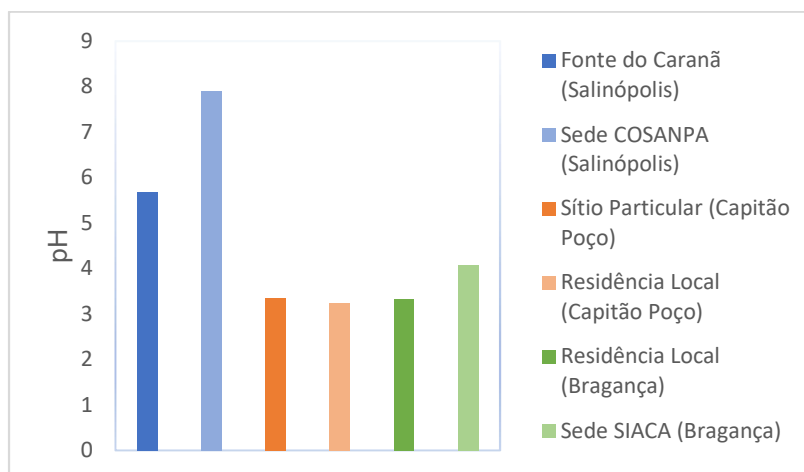


Figura 15 - Variação dos valores de pH entre os pontos amostrais.

Os sólidos totais dissolvidos (Figura 16) não seguiram o mesmo comportamento dos parâmetros anteriores. Nos pontos amostrais do município de Salinópolis, apesar de ainda terem apresentado as maiores concentrações dentre os municípios de amostragem, a variação se mostrou mais amena quando comparada com as concentrações/valores dos parâmetros acima apresentados para o mesmo município. Os valores variaram de 10

mg/L na Fonte do Caranã, a 18 mg/L na Sede da COSANPA. Nos pontos amostrais do município de Capitão Poço, o comportamento dos sólidos totais dissolvidos, por sua vez, continuaram a apresentar o mesmo comportamento, sendo os menores valores e desta vez sem variação, cujo valor registrado foi de 4 mg/L. Nos pontos amostrais do município de Bragança, os sólidos totais dissolvidos tiveram pouca variação entre os dois pontos de amostragem, com 10 mg/L na Residência Local e 9 mg/L no SIACA.

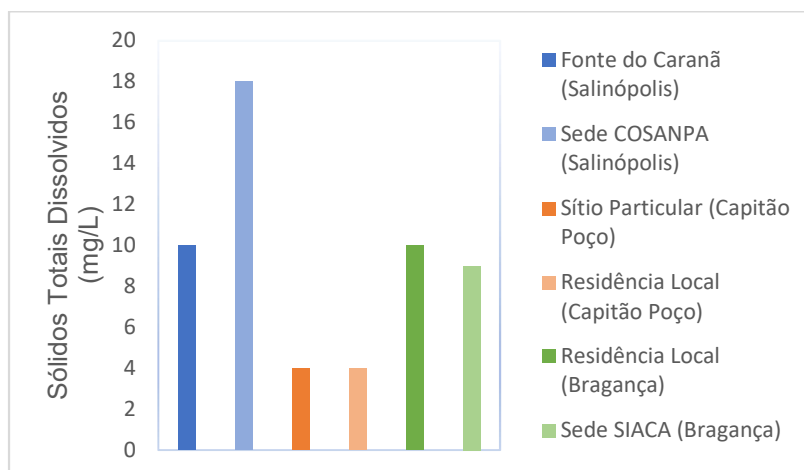


Figura 16 - Variação dos valores de sólidos totais dissolvidos entre os pontos amostrais.

Para a condutividade elétrica (Figura 17), os pontos amostrais do município de Salinópolis voltaram a apresentar o comportamento anterior (exceto para os sólidos totais dissolvidos) com as maiores variações das concentrações entre os dois pontos de amostragem. Neste, as concentrações variaram de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na Fonte do Caranã a 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na Sede da COSANPA. Os pontos amostrais do município de Capitão Poço apresentaram, assim como em todos os parâmetros anteriores, as menores concentrações e variações entre os dois pontos de amostragem, variando de 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no Sítio Particular a 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na Residência Local. E, por fim, nos pontos amostrais do município de Bragança os valores de condutividade variaram de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na Residência Local a 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no SIACA.

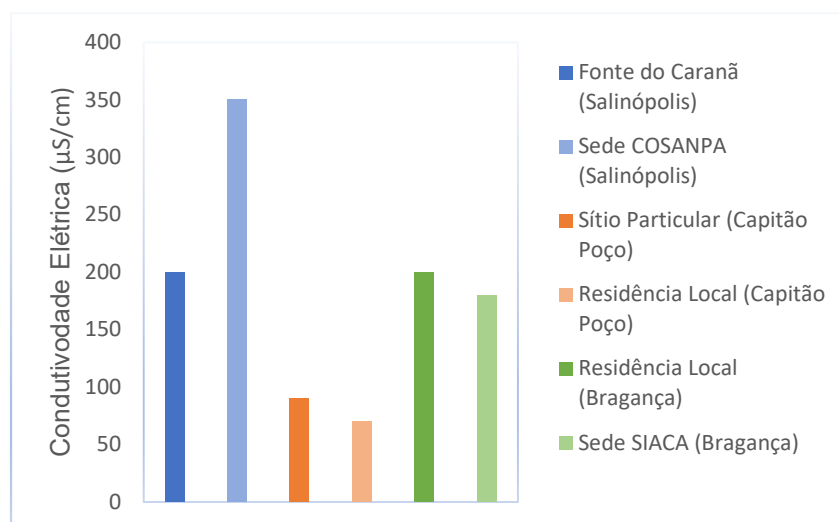


Figura 17 - Variação dos valores da condutividade elétrica entre os pontos amostrais

5.2 ÍONS DISSOLVIDOS – ÂNIONS

As concentrações obtidas para os ânions majoritários das amostras encontram-se na Tabela 6, bem como a abundância e predominância para os pontos amostrais (Figuras 18 e 19). Dentre os íons, a concentração de nitrato deve estar abaixo de 44,3 mg/L, para que a água seja considerada adequada para consumo humano, segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008.

Tabela 6 - Concentração média de ânions dissolvidos nas amostras das águas subterrâneas e valores de referência (CONAMA 396/2008).
* nd = não detectado.

| Amostras | Concentração média de ânions dissolvidos (mg/L) | | | | |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|---------------------|--------------|---------|
| | Cloreto | Fluoreto | Nitrato | Sulfato | Fosfato |
| Fonte do Caranã (Salinópolis) | 13,22 ± 0,78 | 0,37 ± 0,00 | 7,26 ± 0,48 | 18,19 ± 1,37 | nd* |
| Sede COSANPA (Salinópolis) | 13,54 ± 1,52 | 0,28 ± 0,03 | 0,44 ± 0,12 | 8,60 ± 1,41 | Nd |
| Sítio Particular (Capitão Poço) | 3,57 ± 1,20 | nd | 4,28 ± 0,14 | 0,41 ± 0,02 | Nd |
| Residência Local (Capitão Poço) | 2,80 ± 1,16 | nd | 7,35 ± 0,07 | 0,11 ± 0,09 | Nd |
| Residência Local (Bragança) | 17,93 ± 0,60 | nd | 28,12 ± 0,21 | 0,87 ± 0,06 | Nd |
| Sede SIACA (Bragança) | 23,49 ± 0,59 | nd | 23,11 ± 0,17 | 1,52 ± 0,05 | Nd |
| Valor Máximo Permitido (CONAMA 396/2008) | 250 | 1,5 | 44,3 (10 mg N/L) | 250 | 1 |

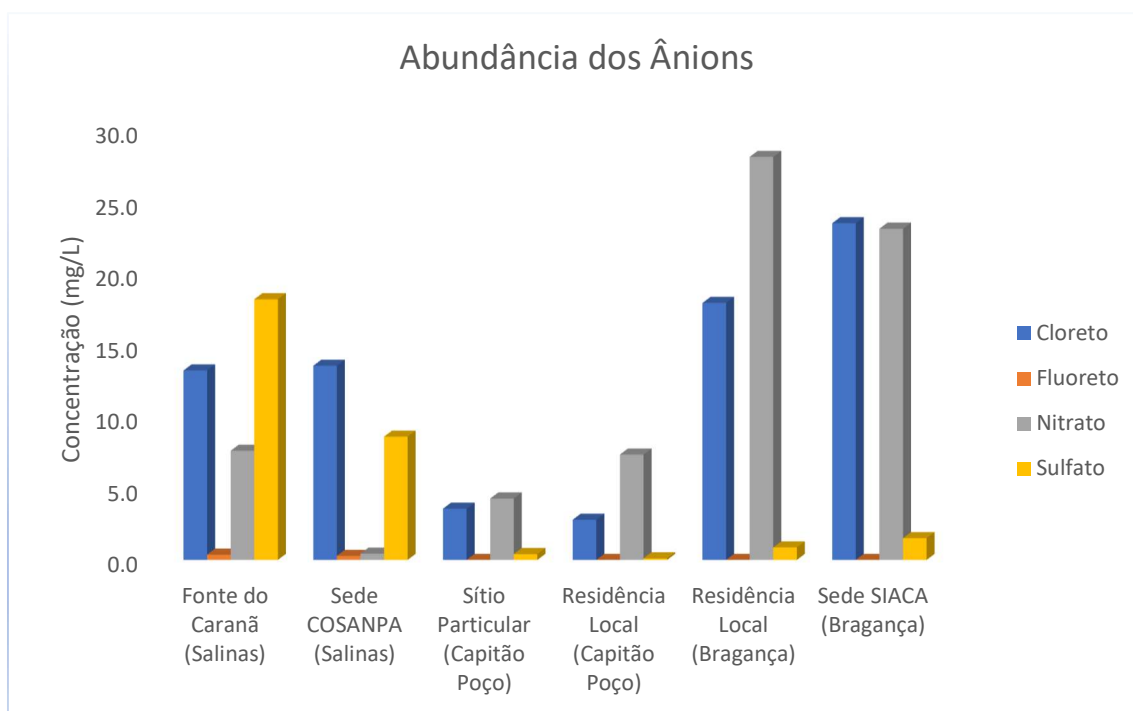


Figura 18 - Abundância dos ânions por ponto estudado.

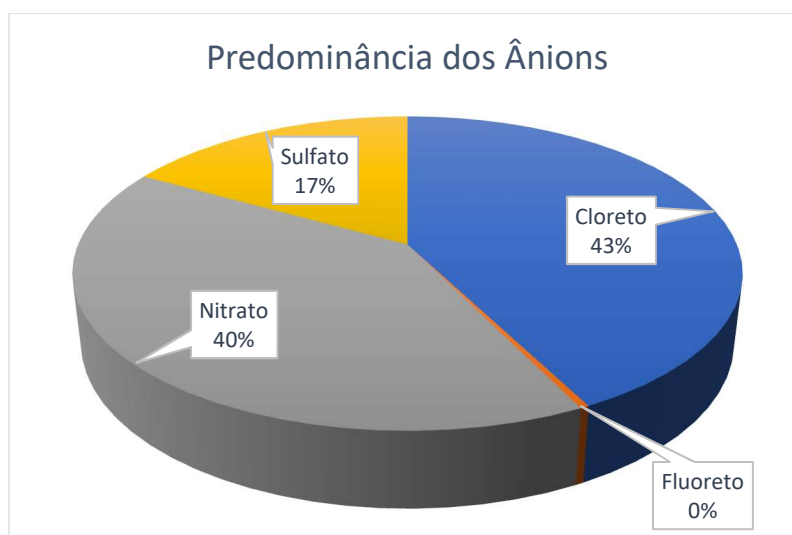


Figura 19 - Predominância dos ânions em porcentagem.

O íon fosfato obteve concentrações que, em todos os pontos amostrais, estiveram abaixo do limite de detecção do método analítico empregado. Comportamento similar foi observado também para o íon fluoreto (Figura 20) nos municípios de Bragança e Capitão Poço, onde apenas entrou no limite de detecção e, portanto, foi quantificado no município de Salinópolis, mas ainda em baixas concentrações, variando de 0,37 mg/L na Fonte do Caranã a 0,28 mg/L na Sede da COSANPA.

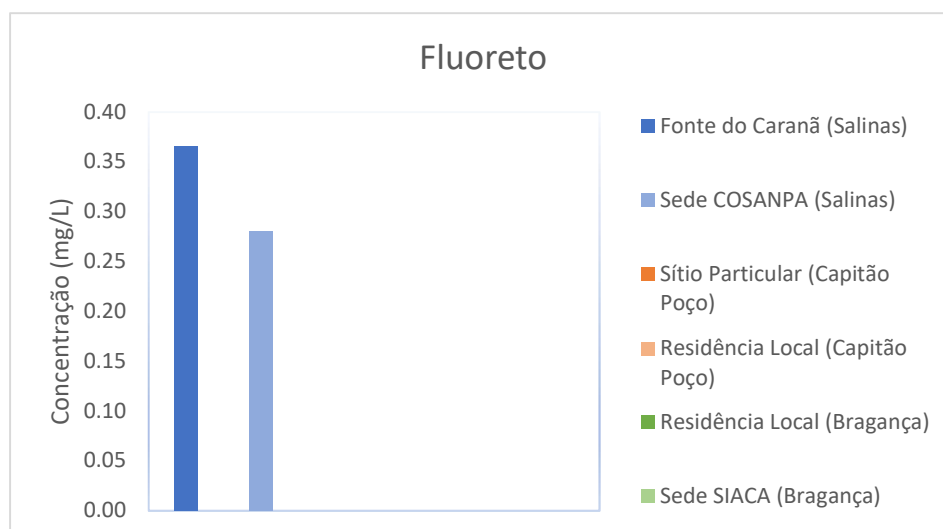


Figura 20 - Concentrações médias de fluoreto por ponto amostral.

As águas subterrâneas estudadas, portanto, têm como ânions principais o cloreto e o nitrato, onde o cloreto foi o ânion predominante (43%). Para este (Figura 21), as concentrações obtidas no município de Salinópolis tiveram uma pequena variação, de 13,22 mg/L na Fonte do Caranã a 13,54 mg/L na Sede da COSANPA. Em Capitão Poço, as concentrações variaram de 3,57 mg/L no Sítio Particular a 2,80 mg/L na Residência Local, representando os menores valores para este ânion nas áreas estudadas. Em Bragança, as concentrações obtidas variaram de 17,93 mg/L na Residência Local a 23,49 mg/L na Sede do SIACA, representando os maiores valores, bem como a maior variação (5,56 mg/L) entre os três municípios.

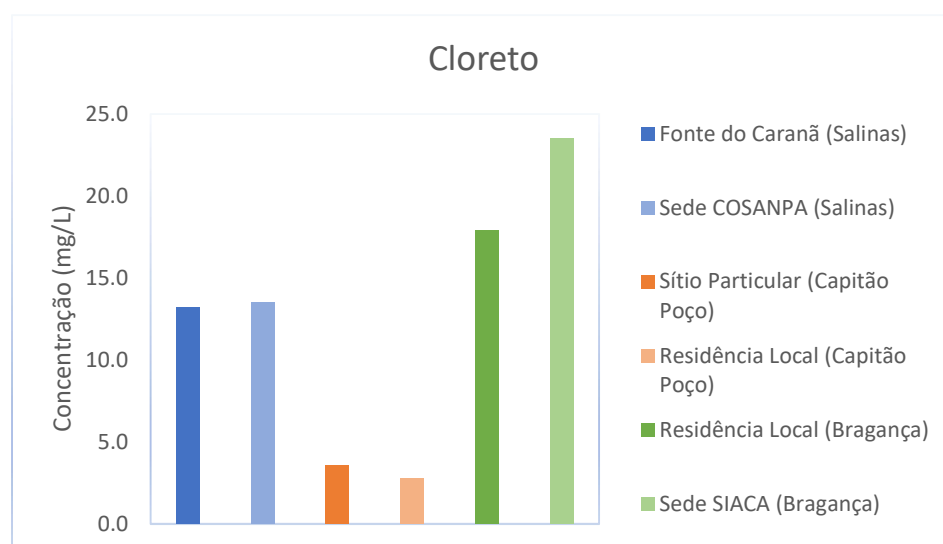


Figura 21 - Concentrações médias de cloreto por ponto amostral.

O nitrato (Figura 22), segundo ânion predominante (40%), apresentou concentrações que variaram, em Salinópolis, de 7,26 mg/L na Fonte do Caranã a 0,44 mg/L na Sede da COSANPA. Em Capitão Poço, as concentrações do ânion em questão

variaram de 4,28 mg/L no Sítio Particular a 7,35 mg/L na Residência Local. Para Bragança, as concentrações variaram de 28,12 mg/L na Residência Local a 23,11 mg/L na Sede do SIACA. Observou-se, então, que a maior variação entre as concentrações de nitrato foi encontrada no município de Salinópolis, assim como os menores valores. Para Bragança, registrou-se as maiores concentrações de nitrato entre os três municípios.

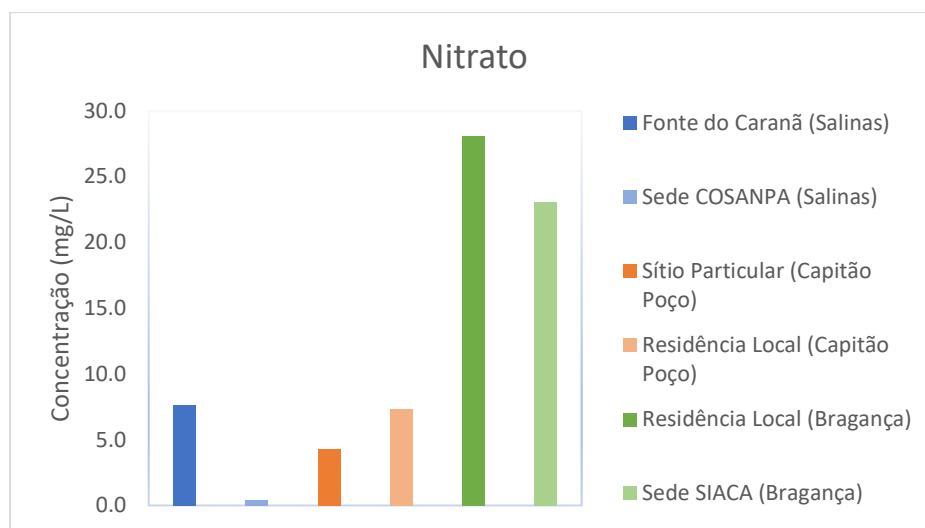


Figura 22 - Concentrações médias de nitrato por ponto amostral.

O terceiro ânion predominante (17%), o sulfato (Figura 23), apresentou concentrações em Salinópolis que variaram de 18,19 mg/L na Fonte do Caranã a 8,60 mg/L na Sede da COSANPA. Para Capitão Poço, as concentrações de sulfato tiveram uma pequena variação, de 0,41 mg/L no Sítio Particular a 0,11 mg/L na Residência Local. Já em Bragança, obteve-se valores de 0,87 mg/L na Residência Local a 1,52 mg/L na Sede do SIACA. Sendo assim, as maiores concentrações de sulfato, bem como a sua maior variação foi obtida no município de Salinópolis, enquanto que no município de Capitão Poço esse íon, também com a menor variação, apresentou menores valores.

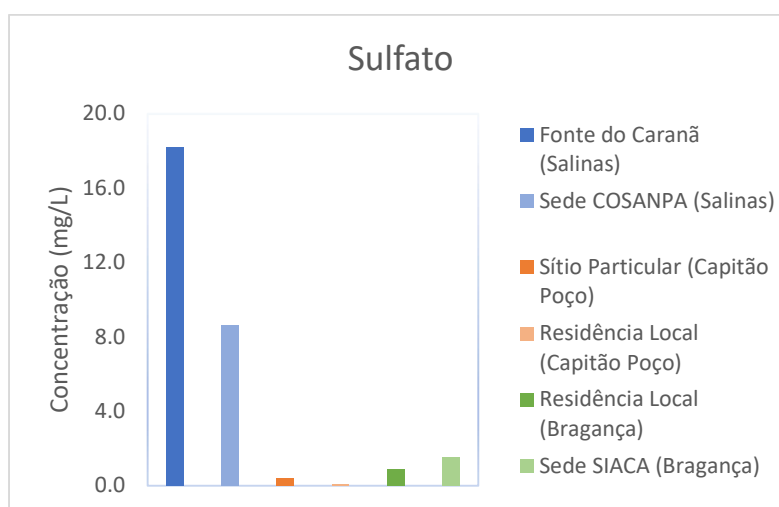


Figura 23 - Concentrações médias de sulfato por ponto amostral.

6 DISCUSSÃO

6.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

6.1.1 Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade nas amostras das águas subterrâneas analisadas apresentou valores moderados, variando de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A Resolução CONAMA n° 396/2008 não dispõe sobre um valor máximo permitido a respeito da CE, entretanto, este parâmetro tem relação direta com a quantidade de sais dissolvidos e ionizados na água, que a transformam num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica; sendo estes indicativos para a qualidade da água, segundo a mesma Resolução. Além desta relação, a CETESB (2016) classifica como ambiente impactado aquele que valor superior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Os valores encontrados no presente estudo corroboram com os poucos estudos já realizados anteriormente nos mesmos municípios e municípios adjacentes (Araújo, 2011; Matta *et al.* 2010; Silva *et al.* 2018), exceto um único trabalho realizado por Souza (1996) na Fonte do Caranã, que registrou valores elevados assim como o presente trabalho para este ponto amostral. Tais valores podem ser explicados pelas constantes obras de revitalização que ocorrem na praça e seus arredores, impactando o corpo hídrico subterrâneo.

Segundo o trabalho realizado por Silva *et al.* (2018), que estudaram a influência de um lixão sobre as águas subterrâneas em Salinópolis, teve-se que a forçante pluviométrica (no período mais chuvoso da região) também teve grande influência sobre o corpo hídrico, contribuindo para a maior diluição dos sais onde se tem condições naturais, e aumentando a concentração onde as áreas sofrem influência da atividade antropogênica.

6.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH apresentou valores abaixo de 6,0 em quase todos os pontos amostrais, exceto na Sede da COSANPA, onde o pH foi igual a 7,91. A Resolução CONAMA n° 396/2008 não dispõe sobre um valor para este parâmetro como indicativo de uma boa qualidade d'água, entretanto, de acordo com a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004), o pH deve apresentar valores entre 6,0 e 9,5 para estar dentro do padrão de potabilidade.

Considerando os valores obtidos para o pH, as águas subterrâneas dos pontos amostrais caracterizam-se com ácidas, exceto para a Sede da COSANPA no município

de Salinópolis, a qual se caracteriza como básica. Os resultados obtidos corroboram com estudos anteriores realizados no Nordeste Paraense e na Região Metropolitana de Belém – RMB (Araujo, 2011; Cabral, 2004; Matta *et al.* 2010; Paranhos, 2010; Oliveira, 2018; Silva *et al.* 2018; Souza, 1996).

Apesar de não estarem, na maioria, dentro do padrão de potabilidade estabelecido por Brasil (2004), não se pode concluir apenas pelo pH a contaminação das águas subterrâneas por atividades antropogênicas. Esses valores do pH refletem um efeito comum na região amazônica, por conta da decomposição da matéria orgânica associada a outros fatores climáticos e geológicos/mineralógicos, que provocam essa diminuição do pH nas águas (Matta, 2002; Souza, 1996).

6.1.3 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os valores obtidos para os STD variaram de 4 mg/L a 18 mg/L nos três municípios. Pela Resolução CONAMA nº 396/2008, os sólidos totais dissolvidos fazem parte dos parâmetros mínimos necessários para o enquadramento das águas subterrâneas para os seus usos preponderantes. Nesta, o Valor Máximo Permitido dos STD é de 1.000 mg/L.

Estudos anteriores realizados por Matta *et al.* (2010) e Silva *et al.* (2018) encontraram valores similares com os obtidos no presente estudo, exceto Souza (1996) que registrou valores mais elevados para a Fonte do Caranã. Verifica-se então, que os valores tanto de STD quanto de CE possuem relação quanto sua concentração, e pode-se dizer, a partir desses dois parâmetros, que as águas subterrâneas estão dentro do padrão de qualidade que dispõe a Resolução CONAMA nº 396/2008.

6.1.4 Temperatura

A temperatura, dentre todos os parâmetros físico-químicos foi o que mostrou a maior homogeneidade nos valores obtidos em cada município, com pequenas variações entre 25°C a 30,7°C.

Em um trabalho realizado anteriormente, Tancredi (1996) comenta sobre a temperatura da água subterrânea apresentar um comportamento que reflete as condições climáticas em superfície. Tal hipótese pode ser aplicada no presente estudo, onde as maiores temperaturas registradas foram no município de Salinópolis, onde o horário da coleta foi ao meio-dia, quando a temperatura do ar estava próxima do máximo previsto para o dia, ensolarado. Já para os municípios de Capitão Poço e Bragança, a coleta foi

realizada ao fim e no começo do dia, respectivamente, onde neste segundo (Bragança) as condições atmosféricas estavam chuvosas, o que pode explicar as temperaturas mais amenas, em relação ao primeiro município.

6.2 ÍONS DISSOLVIDOS – ÂNIONS

Todos os ânions discutidos abaixo foram comparados com estudos anteriores cujos resultados tratavam sobre o mesmo período sazonal que este trabalho foi realizado, sendo este o mais chuvoso da região.

6.2.1 Cloreto (Cl^-)

O cloreto foi o íon predominante dentre todos os ânions estudados, cujas concentrações tiveram uma média que variou entre 2,81 mg/L a 23,50 mg/L. Segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008, o Valor Máximo Permitido do cloreto em águas subterrâneas para o consumo humano é de 250 mg/L, estando este dentro do padrão de qualidade que dispõe a Resolução. Segundo Matta (2002, *apud* Santos, 1997), os teores de cloreto nas águas subterrâneas normalmente são inferiores a 100 mg/L, devido seu alto teor estar relacionado com a existência de rochas sedimentares evaporíticas, o que não é o caso do Grupo Barreiras.

Em um trabalho mais antigo realizado no município de Salinópolis, Souza (1996) constatou valores na mesma faixa de concentração dos encontrados no presente estudo para a Fonte do Caranã (26,6 mg/L). Tal comportamento pode indicar que, de 20 anos atrás para os dias atuais, não se teve uma contaminação do manancial subterrâneo, mesmo sob a pressão antrópica que o mesmo vem sofrendo com as obras públicas voltadas ao turismo. Além da questão antrópica, tem-se que mesmo no período mais chuvoso da região, não houve uma intrusão salina da água do mar, ou a intercalação de água de chuva com influência oceânica, dada a distância relativamente próxima do ponto amostral, nesse aquífero em questão.

Araújo (2011) realizou um trabalho no município de Capitão Poço e constatou concentrações de cloreto semelhantes ao presente estudo, com uma média de $5,25 \pm 4,42$ mg/L também para o período mais chuvoso da região. As concentrações obtidas refletem os processos biológicos, físicos e/ou químicos que ocorrem principalmente na zona não saturada do aquífero Barreiras.

Para o município de Bragança e adjacências, Amorim (2000) e Souza (1998) encontraram valores que corroboram com o presente estudo, onde as concentrações

médias de cloreto detectadas por esses autores foram $28,5 \pm 13,3$ mg/L e $24,03 \pm 9,14$ mg/L, respectivamente. No estudo de Souza (1998), em um ponto amostral foi quantificada uma grande concentração de cloreto na água subterrânea, mas esta foi explicada com a proximidade do aquífero ao Rio Urumajó, o qual recebe influência da água do mar. Já Amorim (2000) considera tanto o aporte quanto a diluição dos íons, serem majoritariamente de influência externa ao aquífero bem como a proximidade da região ao Oceano Atlântico, onde ocorrem os mesmos processos ditos acima, para o município de Salinópolis.

6.2.2 Fluoreto (F^-)

O íon fluoreto foi o de menor concentração entre todos os ânions que puderam ser quantificados, onde em Capitão Poço e Bragança este não entrou no limite de detecção do método cromatográfico. Para o município de Salinópolis, por outro lado, o fluoreto pôde ser quantificado e sua concentração média variou entre 0,37 mg/L na Fonte do Caranã a 0,28 mg/L na Sede da COSANPA. A Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelece 1,5 mg de F^- /L como o Valor Máximo Permitido em águas subterrâneas para consumo humano.

Em Salinópolis esse ânion apresentou um comportamento que difere do esperado, com maiores concentrações para a Fonte do Caranã onde o pH foi o menor registrado entre os dois pontos amostrais. Segundo Fraga (1992) há um aumento na formação de complexos hidrolizados de flúor com o aumento da concentração de OH^- , ou seja, com o aumento do pH, e o observado foi o oposto; onde o pH era maior houve a diminuição da concentração de F^- .

Por outro lado, a partir de literaturas prévias (Fraga, 1992; Pontes, 2011; Souza, 1998) sobre o referido ânion, baixas concentrações já eram esperadas para águas naturais. Pode-se ter a ocorrência do fluoreto associado à SiO_2 e Al^{3+} , contudo estes não foram analisados no presente estudo. O fluoreto está comumente associado à presença de fluidos hidrotermais, bem como rochas graníticas e minerais como a fluorita, apatita, micas e argilominerais, onde as águas naturais geralmente não apresentam as condições necessárias para a solubilização dos complexos fluoretados.

6.2.3 Fosfato (PO_4^{3-})

Dentre todos os ânions analisados, o fosfato foi o único que não pôde ser quantificado em nenhum ponto amostral dada sua concentração tão baixa nas amostras das águas subterrâneas, a ponto de não entrar no limite de detecção do método analítico empregado. Segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008 o Valor Máximo Permitido do referido íon em águas subterrâneas, para consumo humano, é de 1 mg de PO_4^{3-} /L.

Amorim (2000) e Araújo (2011) constataram que, na mesorregião de estudo, as concentrações de fosfato, quando encontradas, variaram entre 0,01 mg/L e 0,45 mg/L. E quando apresentaram-se concentrações pontuais mais elevadas, essas se deram devido à proximidade com fossas e outras fontes de contaminação antropogênicas, como produtos químicos de uso pessoal e fertilizantes.

Em águas subterrâneas, a ocorrência do íon fosfato se dá em pequenas concentrações, uma vez que sua solubilização é muito difícil, dependendo de fatores como o pH, além de apresentar tendência de formar compostos com vários íons, como os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, e coligações fortes com os minerais de argila (Amorim, 2000; Gomes *et al.* 2008; Shuqair, 2002; Silva & Silva, 2007).

6.2.4 Nitrato (NO_3^-)

O íon nitrato foi o segundo ânion predominante no presente estudo, com concentrações médias variando entre 0,44 mg/L a 28,13 mg/L. A Resolução CONAMA nº 396/2008 prevê que, para o estudo de qualidade de água subterrânea para o consumo humano, a análise tenha, por obrigatoriedade, a quantificação deste íon, uma vez que em concentrações acima de 44,3 mg/L (ou 10 mg N/L) pode desencadear severos problemas de saúde pública, como a incidência de câncer e a metahemoglobinemia, ou “síndrome do bebê azul” (Costa *et al.* 2016).

No presente estudo, as concentrações de nitrato tiveram variações consideráveis entre cada ponto amostral. Em Salinópolis, a maior concentração deste ânion foi na Fonte do Caranã, onde durante a amostragem, os moradores locais relataram sobre a constante diminuição da qualidade da Fonte, com o decorrer dos anos. Contudo, não foram encontrados trabalhos pretéritos que possibilitem a comparação dos resultados para se obter um quadro da qualidade dessa água subterrânea. No outro ponto amostral do município, a concentração de nitrato foi cerca de 7 mg/L menor, o que se pode cogitar a possibilidade de que na Sede da COSANPA, o sistema de tratamento para distribuição de água para a cidade passa estar atingindo, em certa concentração, as

águas subterrâneas, diminuindo a concentração de nitrato nestas, pontualmente. Adjacente ao município de Salinópolis, Matta *et al.* (2010) realizou um estudo no município de Curuçá e registrou valores entre 0,1 e 3,8 mg/L, onde os valores mais elevados para as séries nitrogenadas foram encontrados onde havia influência do lixão da cidade.

Trabalhos realizados por Araújo (2011) e Araújo *et al.* (2011) registraram concentrações de nitrato com médias de $1,05 \pm 0,39$ mg/L e $0,36 \pm 0,20$ mg/L, respectivamente, ambas para amostras localizadas no município de Capitão Poço. No presente trabalho, as concentrações de nitrato também foram relativamente baixas, corroborando com os trabalhos acima citados, com valores médios entre 4,29 mg/L e 7,3 mg/L. O município de Capitão Poço é um grande polo de cultivo de cítricos, e assim como dito por Araújo *et al.* (2011), suas águas subterrâneas estão sendo, gradativamente, contaminadas por nitratos de origem antrópica, via fertilizantes. Tal afirmativa pode ser observada quando feita a comparação entre os dados dos três trabalhos, onde em um espaço temporal de 07 anos, a concentração de nitrato aumentou cerca de 3 a 6 vezes nas águas subterrâneas.

Para os pontos amostrais situados no município de Bragança, os valores foram os maiores registrados dentre todos os pontos amostrais, com concentrações médias variando entre 23,11 mg/L e 28,13 mg/L. Amorim (2000) e Souza (1998) em trabalhos anteriores referentes ao mesmo período registraram valores médios de $13,90 \pm 1,66$ e $6,40 \pm 2,91$, respectivamente, sendo que o primeiro autor foi na região da cidade de Bragança assim como o presente estudo, e o segundo autor realizou o estudo em uma região mais a leste, também próximo do realizado neste estudo. A partir dos dados obtidos, observou-se um padrão nas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas, onde numa faixa entre 18-20 anos de diferença entre os estudos prévios com o atual, houve um aumento de cerca de (\pm) 15 mg/L de nitrato nos aquíferos. Nos pontos amostrais do município de Bragança, o crescimento urbano, assim como o aumento pela demanda de água (e a construção de poços particulares) pode ter influenciado nesse aumento da concentração do íon em águas subterrâneas. A comunidade de Caratateua, coincidentemente, sofreu com a construção irregular de poços particulares que levaram à contaminação do aquífero, no mesmo período da amostragem; e segundo o Sistema de Abastecimento de Água de Caratateua (SIACA) todas as medidas já estavam sendo realizadas para minimizar os impactos.

6.2.5 Sulfato (SO_4^{2-})

O íon sulfato foi o terceiro ânion predominante no presente estudo, com concentrações médias entre 0,11 mg/L e 18,19 mg/L. A Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelece 250 mg/L como Valor Máximo Permitido em águas subterrâneas para o consumo humano.

Entre os pontos amostrais este íon apresentou comportamento quase homogêneo, exceto no município de Salinópolis, onde sua concentração variou de 8,60 mg/L na Sede da COSANPA a 18,19 mg/L na Fonte do Caranã. No trabalho realizado por Souza (1996) foram registradas concentrações médias de $34,56 \pm 1,92$ mg/L de sulfato nas águas subterrâneas, para a Fonte do Caranã. Durante a amostragem, também em conversa com os moradores locais, foi relatado que antes da explosão turística e dos investimentos e reformas na Praça da Fonte, a Fonte do Caranã era rica em rochas de enxofre, e embora não se tenha comprovação científica na literatura, essa é uma hipótese plausível, e explicaria a diminuição da concentração do ânion na atualidade, e quando comparado com a Sede da COSANPA cujas concentrações também foram menores.

Para o município de Capitão Poço, as concentrações de sulfato foram bem pequenas, variando de 0,11 a 0,41 mg/L. No trabalho realizado por Araújo *et al.* (2011) para o mesmo município, as concentrações encontradas também foram ínfimas, com uma média de $0,01 \pm 0,004$ mg/L.

Por fim, no município de Bragança as concentrações de sulfato foram um pouco maiores do que no município discutido anteriormente, variando de 0,87 mg/L a 1,52 mg/L. Nos trabalhos realizados por Amorim (2000) e Souza (1998) as concentrações médias de sulfato encontradas foram de $0,4 \pm 3,03$ mg/L e $16,25 \pm 9,35$ mg/L, respectivamente, onde neste segundo o autor explica a média com valor mais elevado, pela proximidade com o um sistema fluvial, que por sua vez recebe influência da água do mar.

7 CONCLUSÃO

Com base na avaliação dos parâmetros físico-químicos, bem como pela determinação de ânions dissolvidos nas águas subterrâneas, todos os seis pontos amostrais encontram-se dentro do padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008.

De toda a malha amostral, os pontos de amostragem situados no município de Capitão Poço apresentaram as melhores condições ambientais, naturais, com o menor indício de contaminação dos aquíferos pelos ânions estudados. O município de Bragança, por sua vez, foi o mais vulnerável à contaminação dos aquíferos, onde a concentração de nitrato, em especial, mesmo ainda estando abaixo do Valor Máximo Permitido estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008, ainda representa um risco à saúde pública. Acredita-se que a pressão antrópica no solo representa um fator importante quanto à vulnerabilidade de um ambiente a um impacto ambiental, ou seja, quanto maior o número da população, mais vulnerável a impactos estará o ambiente. Ressalta-se, contudo, que a quantidade de amostras para cada município foi limitada, necessitando-se de estudos mais abrangentes, a fim de se obter uma descrição geral por município.

Para uma avaliação mais completa da qualidade da água subterrânea, faz-se necessário (conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 396/2008) a quantificação, também, dos cátions dissolvidos e dos coliformes fecais, haja vista que, como pôde ser visualizado principalmente no município de Salinópolis, e em Capitão Poço em menor expressividade, as águas subterrâneas podem apresentar diferenças composicionais mesmo quando os poços estão a poucos quilômetros de distância, o que mostra a diversidade de fatores que interagem no ambiente superficial e que refletem no subterrâneo. Os ânions e cátions, associados, possibilitam a correlação geoquímica dos elementos, assim como os coliformes indicam e quantificam as bactérias presentes no corpo aquático que podem representar um risco à saúde humana, além de contribuir para o mapeamento de um possível impacto ambiental.

Mesmo sem ter as informações completas de todos os pontos amostrais, admitiu-se que os aquíferos analisados foram o Pós-Barreiras e Barreiras, devido ao levantamento bibliográfico, e em comparação com estudos já realizados, principalmente sobre a geologia do Nordeste Paraense.

Os estudos sobre as águas subterrâneas e a sua composição química ainda são muito escassos na região Norte do Brasil, e em especial no Nordeste Paraense. Espera-

se, então, que os resultados obtidos no presente trabalho contribuam para um banco de dados, assim como um fomento à realização de mais estudos sobre esta temática, de iniciativa particular e pública, afim de servir como subsídio para tomadas de decisões no âmbito da gestão ambiental, não só na mesorregião do nordeste, mas como em todo o estado do Pará.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque Filho J. L., Barbosa M. C., Azevedo S. G., Carvalho A. M. 2011. O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável. *Revista Recursos Hídricos*, **32** (2): 53-61.
- ANA (Agência Nacional das Águas). 2005. *Caderno de recursos hídricos. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, 74p.
- Almeida L. Coordenação de águas subterrâneas SIP/ANA. *Hidrogeologia: conceitos básicos*. Oficina de capacitação do Progestão: águas subterrâneas. Brasília, DF, Agência Nacional das Águas (ANA). Disponível em: <<http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/eventos/oficinas-deintercambio-1/aguas-subterraneas-1/apresentacoes-ana/ana-1-hidrogeologia-leonardode-almeida.pdf>> Acesso em: 12 de maio de 2018.
- Andrade E. M. 2009. A irrigação e suas implicações sobre o capital natural em regiões áridas e semiáridas: uma revisão. *Revista Ceres* **56** (4): 390-398.
- Andrade E. M., Aquino, D. N., Crisóstomo, L. A., Rodrigues, J. O., Lopes, F. B. 2009. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. *Ciência Rural*, Santa Maria, vol. **39** (1): 88-95.
- Araújo P. P. 2011. *Avaliação dos compostos nitrogenados no aquífero livre em agroecossistemas de citros no Alto Rio Capitão Pocinho, Amazônia Oriental*. TS Doutorado, Universidade Federal Rural da Amazônia e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA.
- Araújo P. P., Oliveira F. A., Cavalcante I. N., Queiroz J. C. B., Carneiro, B. S., Tancredi A. C. F. N. S. 2011. Classificação hidroquímica e contaminação por nitrato no aquífero livre barreiras na bacia do rio Capitão Pocinho, região do médio rio Guamá, na Amazônia Oriental. *Ambi-Agua*, Taubaté, **6** (2): 266-281.
- Amorim H. S. 2000. *Caracterização geoquímica e avaliação da qualidade das águas subterrâneas do aquífero freático da cidade de Bragança, Pará*. DS Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará.
- Araújo R. G., Andreoli R. V., Candido L. A., Kayano M. T, Souza R. A. F. 2013. A influência do evento el niño - oscilação sul e atlântico equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. *Acta Amazonica* [online]. **43** (4): 469-480.
- Araujo P. P., Freddo V. J. F., Ferreira H. S., Abreu F. A. M. 2016. Cartografia das bacias hidrogeológicas usando os métodos potenciométrico e gravimétrico – Nordeste do Estado do Pará. In: 19º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas & 20º Encontro de Perfuradores de Poços, Campinas-SP. p. 1-10.
- Azevedo R. P. 2006. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, **36** (3): 313-320.

Brasil. Ministério da Saúde. 2004. *Portaria nº 518*: Padrões de potabilidade para águas subterrâneas.

Cabral N. M. T. 2004. *Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA*. TS Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, 278 p.

Carmo J. A. R. 2014. *Recarga subterrânea direta e sua influência sobre a temperatura e a condutividade elétrica em microbacias do rio Vacavaí-Mirim, RS*. DS Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 2003. *Canadian water quality guidelines for protection of aquatic life – guidance for site-specific application of water quality guidelines in Canada and procedures for deriving numerical water quality objectives*. Winnipeg, MB, Canada.

Celligoi A. 1999. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. *Geografia*, Londrina, **8** (1): 91-97.

CETESB. 2011. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Companhia ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. – São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011, 326pp.

CETESB. 2016. Qualidade das águas doces no Estado de São Paulo. *Apêndice E – significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade*. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>> Acesso em: 05 de abril 2018.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2008. *Resolução nº. 396*, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, DF.

Cordeiro I. M. C. C., Rangel-Vasconcelos L. G. T., Schwartz, G., Oliveira, F. A. (Organizadores). 2017. *Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias*. Belém: EDUFRA. 328 p.

Costa D. D., Kempka A. P., Skoronski E. 2016. A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: o panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais. *Revista Eletrônica do PRODEMA*. Fortaleza, Brasil, **10** (2): 49-61.

Costa L. G., Damasceno M. V. N, Santos R. 2012. A Conferência de Estocolmo e o pensamento ambientalista: como tudo começou. In: *Âmbito Jurídico*, Rio Grande, XV, **105**.

- Cunha I. R. V. 2017. *Permeabilidade da praia do Caripi (Barcarena – PA) a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos*. TCC (Graduação em Oceanografia), Universidade Federal do Pará.
- Diemer O., Boscolo W. R., Signor A. A., Feiden A. 2014. Fósforo na alimentação de pacus criados em tanques-rede. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, **66** (4): 1243-1250.
- Esteves F. A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência.
- Felizzola J. F., Pires C. S. 2012. *Guia prático do peaknet 6: cromatografia de íons dionex*. Belém – PA: Embrapa Amazônia Oriental.
- Fernandes M. A. B., Santiago M. M. F., Gomes D. F., Mendes Filho J., Frischkorn H., Lima J. O. G. 2005. A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na Chapada do Apodi – Ceará. *Águas Subterrâneas*, **19** (1): 25-34.
- Fraga C. G. 1992. *Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da bacia do Paraná*. TS Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo.
- França D. L. S. 2008. *Turismo e dinâmica demográfica: reflexos da atividade turística no comportamento reprodutivo da mulher no município de Salinópolis, PA*. DS Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Pará. 198p.
- Furtado Junior I., Tavares M. C. S., Brito C. S. F. 2006. Estatísticas das produções de pescado estuarino e marítimo do Estado do Pará e políticas pesqueiras. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciênc. hum. [online]*. **1** (2): 95-111.
- G1. 2012. *Praias paradisíacas são cenário para o agito do verão em Salinas*. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2012/07/praias-paradisiacas-sao-cenario-para-o-agito-do-verao-em-salinas.html>> Acesso em: 21 fev. 2018.
- Gomes M. A. F., Barizon R. R. M. 2014. *Panorama da contaminação ambiental por agrotóxicos e nitrato de origem agrícola no Brasil: cenário 1992/2011*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA.
- Gomes M. A. F., Souza M. D., Boeira R. C., Toledo L. G. 2008. Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos. *Rev. Amp. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente*, **2**.
- IBGE. 2017. *diretoria de pesquisas, coordenação de população e indicadores sociais, estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2017*.
- Köppen W. 1948. Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra. *Fondo de Cultura Económica*. México. 479p.
- Lago A. A. C. 2007. *Estocolmo, Rio, Joanesburgo: O Brasil e as três conferências ambientais das nações unidas*. Brasil. Thesaurus Editora.

Lopes M. N. G., De Souza E. B., Ferreira D. B. S. 2013. climatologia regional da precipitação no Estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, **09** (12).

Martens P. McMichael J. 2002. *environmental change, climate and health: issues and research methods*. Cambridge University Press: UK.

Matta M. A. S., Sena G. L. S., Cavalcante I. N., Cristo L. C. F., Martins J. A. C., Vasconcelos Y. B., Carmona K. M., Vanzin M. M. 2010. As águas subterrâneas do município de Curuçá-PA: qualidade e uso alternativo para o abastecimento público. *In: 16º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas & 17º Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*.

Matta M. A. S. 2002. *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil*. TS Doutorado, Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica; Universidade Federal do Pará.

Mcneely R. N., Neimanis V. P., Dwyer L. 1979. *Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters*. Ottawa, Canadá: [s.n.].

Mechi A., Sanches, D. L. 2010. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. *Estud. av.*, São Paulo, **24** (68): 209-220.

Mendonça A. M. 2016. *Confiabilidade dos parâmetros monitorados em águas por sonda multiparâmetros*. DS Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria.

Miranda R. A. C., Oliveira M. V. S., Silva D. F. 2010. Ciclo hidrológico planetário: abordagens e conceitos. *Geo UERJ – Ano 12*, **1** (21).

MMA – Ministério do Meio Ambiente. *Figura do ciclo hidrológico*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso em: 14 maio 2018.

MMA – Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 1997. *Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos*. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 72p.

Nanes P. L. M. F, Nanes D. P., Farias S. E. M. 2012. Qualidade das Águas Subterrâneas de Poços Tipo Cacimba: Um Estudo de Caso da Comunidade Nascimento – Município de São Sebastião – AL. *In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.

Oliveira L. C. 2018. *Avaliação preliminar da qualidade das águas subterrâneas de dois municípios paraenses: subsídios à gestão hídrica na região metropolitana de Belém*. TCC (Graduação em Oceanografia), Universidade Federal do Pará.

Oliveira P. A. V. 1993. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. Concórdia: EMBRAPA/CNPISA.

- Paranhos P. F. 2010. *Caracterização hidroquímica do sistema aquífero pirabas em Icoaraci, região metropolitana de Belém – Estado Do Pará*. DS Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará.
- Paz V. P. S., Teodoro R. E. F., Mendonça F. C. 2000. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **4**, (3): 465-473. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.
- Pott C. M., Estrela C. C. 2017. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos Avançados*, **31** (89).
- Ribeiro M. L., Lourencetti C., Pereira S. Y., Marchi M. R. R. 2007. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. *Quím. Nova*, **30** (3): 688-694.
- Rodrigues E. S. F. 2016. *Caracterização hidroquímica dos aquíferos freáticos costeiros na cidade de Salinópolis-PA*. DS Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará.
- Rodríguez S. C., De Asmundis C. L., Martínez G. C. 2016. variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas. *Agrotecnia*, **24**: 30-34.
- Ruppenthal J. E. 2014. *Gestão ambiental*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria.
- Saldanha D. S. 2009. *Variabilidade morfosedimentar das praias estuarinas de Caripi e Itupanema (Barcarena, Pará)*. TCC (Graduação em Geologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém. 112p.
- Santos A. G. S., Moraes L. R. S., Nascimento S. S. A. M. 2015. Qualidade da água subterrânea e necrochorume no entorno do cemitério do campo santo em Salvador/BA. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, [S.l.], **3** (1): 39-60, ago.
- Santos A. C. 2000. In: Feitosa F. A. C., Manoel Filho, J. (coor). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 2ª ed. Fortaleza: CPRM/REFO, 391 p.
- Santos A. C. 1997. *Noções de hidroquímica*. In: Feitosa F. A. C. & Manuel Filho J. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. CPRM. Cap. 5. P. 81 - 108.
- Shuqair S. M. S. 2002. *Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de Figueira no Estado do Paraná*. TS Doutorado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.
- Silva R. S. B., Sousa A. M. L., Sodrê S. S. V., Vitorino M. I. 2018. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do lixão de Salinópolis, PA. *Revista Ambiente & Água*, **13** (2).

Silva R. R., Branco J. C., Thomaz S. M. T., Cesar A. 2017. Convenção de Minamata: análise dos impactos socioambientais de uma solução em longo prazo. *Saúde Debate*, Rio de Janeiro, **41**, n. especial, p. 50-62.

Silva M. L., Silva M. S. R. 2007. Perfil da qualidade das águas subterrâneas de Manaus. *HOLOS Environment*, **7** (1).

Souza L. C. 2010. A efetividade da proteção das águas subterrâneas no Brasil. In: 8º Congresso Brasileiro do Magistério Superior da Associação dos Professores de Direito Ambiental do Brasil – APODRAB & 1º Congresso de Direito Ambiental da PUC-RIO. Rio De Janeiro, 20p.

Souza A. M. M. 1998. *Diagnóstico dos recursos hídricos da cidade de Urumajó, município de Augusto Corrêa*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial.

Souza E. L. 1996. *Fatores controladores do quimismo de águas subterrâneas da região Nordeste do Pará*. TS Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará.

Tancredi A. C. F. N. S. 1996. *Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: fundamentos para uso e proteção*. TS Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará.

Terrel D. 2007. *Avaliação da qualidade da água subterrânea em área de mineração de caulim: impactos e perspectivas de remediação, município de Mogi das Cruzes, SP*. DS Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo.

Tinoco J. E. P., Robles L. T. 2006. A contabilidade da gestão ambiental e sua dimensão para a transparência empresarial: estudo de caso de quatro empresas brasileiras com atuação global. *RAP*. Rio de Janeiro **40** (6): 1077-96.

Tucci C. E. M. 2001. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2ª ed., Porto Alegre, Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade, 943p.

Tundisi J. G., Tundisi T. M. 2008. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos.

UFC (Universidade Federal do Ceará). 1993. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará*. Fortaleza: BNB, 248p.

Von Sperling M. 1996. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2ª edição, 243 pag.

WCED (World Commission on Environment and Development). 1987. our common future. *Relatório Brundtland*. Oxford: Oxford University Press.

Yamada D. T. 2004. *Caracterização geológico-geotécnica aplicada à instalação de postos de combustíveis em Rio Claro (SP)*. xi, 122 f. DS Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

Zimbres E. 2000. *Guia avançado de águas subterrâneas*. Rio de Janeiro.