



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

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS  
SUPERFICIAIS DA BACIA DO PARACURI, BELÉM – PA**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**RAFAELA MARITHA ARAÚJO PARAENSE**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. DSc. Andréia Cardoso Pereira (UFPA)**

---

**BELÉM – PA  
2019**



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

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS  
SUPERFICIAIS DA BACIA DO PARACURI, BELÉM – PA**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**RAFAELA MARITHA ARAÚJO PARAENSE**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. DSc. Andréia Cardoso Pereira (UFPA)**

---

**BELÉM – PA  
2019**

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

---

P221a Paraense, Rafaela Maritha Araújo  
Avaliação físico-química das águas superficiais da bacia do Paracuri,  
Belém - PA / Rafaela Maritha Araújo Paraense. — 2019.  
xiii, 55 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Andréia Cardoso Pereira  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de  
Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,  
Belém, 2019.

1. Qualidade de água. 2. Monitoramento ambiental. 3. Bacia  
hidrográfica. I. Título.

---

CDD 551.9



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Faculdade de Geologia**

## **AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO PARACURI, BELÉM – PA**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**RAFAELA MARITHA ARAÚJO PARAENSE**

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

**Data de aprovação: 18 / 12 / 2019**

**Banca examinadora:**

**Prof.<sup>a</sup> D.Sc. Andréia Cardoso Pereira**  
**(Orientadora – UFPA)**

**Prof. D. Sc. José Augusto Correa Martins**  
**(Membro interno – UFPA)**

**D. Sc. Elma Costa Oliveira**  
**(Membro externo – UFPA)**

## AGRADECIMENTOS

Às instituições públicas de ensino, em especial a Universidade Federal do Pará, por proporcionar ensino gratuito de qualidade e mudar a minha forma de ver o mundo.

À professora Andréia Cardoso, por acreditar no meu potencial e aceitar me orientar, com paciência e dedicação. Sou profundamente grata pelos conhecimentos compartilhados, e por fomentar meu interesse por geoquímica analítica.

À Elma Oliveira, um verdadeiro anjo do Pará-Iso, que possibilitou as análises por ICP-MS e deu suporte nas demais análises.

Ao Afonsinho Quaresma e ao seu Nascimento (Naná), pelo apoio logístico neste estudo e durante todos os trabalhos de campo da graduação.

À técnica Leila Hanna, do Laboratório de Hidroquímica, pelo auxílio com as análises iniciais. Aos professores do Instituto de Geociências, em especial ao professor Maamar El-Robrini, pela troca de ideias e referências que contribuíram para o enriquecimento desse estudo.

Agradeço imensamente a minha família, por todo apoio e incentivo à minha vida acadêmica. Ao meu pai Dorival, por sempre cuidar de mim, ser meu exemplo de persistência e o melhor contador de histórias. À minha mãe e melhor amiga Marta, que me enche de amor mesmo com a distância. Ao meu irmão Felipe, pelos momentos de descontração e risadas.

Ao Rafael, pelo carinho e companheirismo de todos os dias, por me ajudar nas coletas e me acompanhar até altas horas no laboratório. Aos amigos que fiz durante a graduação na UFAM e na UFPA, em especial à Ingrid, Alayana, Isa Apoema, Isa Farias, Tatiana, Plácido, Reis, Júlio, Profeta e a todos da turma 2015, por todas as experiências compartilhadas esses anos.

Aos meus amigos de sempre, Monique, Mário, Davi, Noal e Felipe pelos risos, conversas, cafés e nossos tradicionais natais juntos.

Aos moradores do Paracuri, por contribuírem com meu estudo, me atendendo com simpatia e gentileza durante as coletas.

A todos, obrigada!

*“Everything's got to end  
sometime. Otherwise nothing would  
ever get started”*

***Doctor Who***

## RESUMO

A bacia hidrográfica do Paracuri, localizada na zona de expansão do município de Belém, passou por um processo de urbanização desordenada. A deficiência de estações de esgoto nas regiões periféricas representa um grande risco à qualidade das águas da bacia. Este estudo promoveu um monitoramento das águas superficiais da bacia do Paracuri, localizada na Região Metropolitana de Belém. Foram coletadas seis amostras de águas superficiais em quatro campanhas de amostragem durante os períodos menos chuvoso e chuvoso da região. Os pontos de coleta foram distribuídos preferencialmente próximo à foz dos igarapés Paracuri e Livramento, pois além de ser a região para onde todos os efluentes lançados nesses cursos hídricos convergem, se encontra na área de influência de comércios, residências e portos de navegação. Os parâmetros físico-químicos abordados neste trabalho foram analisados comparativamente com os limites estabelecidos pela Resolução nº 357 de 2005 do CONAMA, para águas doces de classe 2 e correlacionados com as possíveis fontes de origem natural ou antrópica. Temperatura, pH, sólidos totais dissolvidos, amônia, zinco, bário, cobre, arsênio, níquel e chumbo apresentaram valores concordantes com os limites da legislação brasileira. Foi observado que alguns parâmetros são diretamente influenciados pelas condições climáticas, e.g., teores de ferro, alumínio, manganês, arsênio e metais pesados, que apresentaram maiores concentrações durante o período chuvoso, em função da remobilização dos sedimentos de fundo pelas águas pluviais, o que também acarreta no aumento da turbidez nesse período. Os valores mais elevados de condutividade elétrica, e por correlação, de sólidos totais dissolvidos, ocorrem em função da concentração de íons, principalmente o sódio e em menor proporção o cálcio, magnésio e potássio, maior durante épocas de poucas chuvas. Além disso, as análises de propriedades como alcalinidade e dureza mostraram que essas águas são mais resistentes a mudanças de pH no período chuvoso, quando apresentam maior alcalinidade, e que pela estimativa da concentração de  $\text{CaCO}_3$  pode ser classificada como “água mole”. Os principais parâmetros que indicaram alteração da qualidade das águas por influência antrópica foram os surfactantes aniônicos (SA) e o ferro. As concentrações de SA ultrapassaram o limite estabelecido pela CONAMA 357/05 em até 36 vezes, o que indica lançamento de efluentes domésticos e industriais diretamente nesses recursos hídricos. O ferro, que apresentou teores acima da legislação em três campanhas de amostragem, pode ser proveniente dos portos de navegação e estaleiros que existem naquela região.

Palavras-chave: Qualidade de água. Monitoramento Ambiental. Bacia hidrográfica.

## ABSTRACT

The Paracuri watershed, located in the expansion zone of the municipality of Belém, has suffering a disorderly urbanization process. The deficiency of sewage stations in the peripheral regions poses a great risk to the water quality. Therefore, this study promoted a monitoring of the surface waters of the Paracuri watershed, located in the Metropolitan Region of Belém. Six surface water samples were collected during four sampling campaigns, during the dry and rainy seasons of the region. The sampling points were distributed preferentially near the river mouth of the Paracuri and Livramento streams, the convergence region where all the effluents discharges into, and it is located near commerce, residences and navigation ports. The physicochemical parameters approached in this research were compared with the limits established by Resolution No. 357 of 2005 of the Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), for class 2 freshwater, and correlated with possible sources with natural or anthropic origin. Temperature, pH, total dissolved solids, ammonia, zinc, barium, copper, arsenic, nickel and lead were in accordance with Brazilian law. It was noted that climatic conditions influences directly some parameters, such as iron, aluminum, manganese, arsenic and heavy metals contents, which present higher concentrations during the rainy season, due to the remobilization of the sediments by rainwater, which also results in increased turbidity during this period. The highest values of electrical conductivity, and by correlation, of total dissolved solids occur due to the ion concentration, mainly sodium and to a lesser extent calcium, magnesium and potassium, higher during the dry season. In addition, analyses of properties such as alkalinity and hardness showed that these waters are more resistant to pH changes in the rainy season, when they have higher alkalinity, and that can be classified as “soft water”, due to the  $\text{CaCO}_3$  concentration. The main parameters that indicated alteration of water quality due to anthropic influence were anionic surfactants (AS) and iron. AS concentrations exceeded up to 36 times the limit established by law, which indicates discharge of domestic and industrial effluents directly into these water resources. The iron, which had levels above the legislation in three sampling campaigns, may come from the shipping ports and shipyards that exist in that region.

Keywords: Water quality. Environmental monitoring. Watershed.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Paracuri. ....	13
Figura 2 - Precipitação média mensal (mm) e temperatura média mensal do ar (°C), durante o período de estudo (novembro de 2018 a setembro de 2019). Fonte: INMET (2019). ....	14
Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho. ....	19
Figura 4 - Mapa de localização dos pontos amostrados nos igarapés Paracuri e Livramento, na bacia do Paracuri. ....	20
Figura 5 – Aspectos de alguns pontos de coleta. a) Resíduos sólidos às margens do igarapé no ponto P6; b) Ponto P4, próximo a ponte da rodovia Arthur Bernardes; c) Vegetação as margens do igarapé no ponto P2. ....	28
Figura 6 - Distribuição dos valores de temperatura ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e no período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05. ....	29
Figura 7 - Insolação total mensal e nebulosidade média mensal entre novembro de 2018 e setembro de 2019 na cidade de Belém. Fonte: INMET (2019). ....	30
Figura 8 - Distribuição dos valores de pH ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e no período menos chuvoso (nov/18 e set/19), e os valores mínimo e máximo permitidos pela legislação CONAMA 357/05. ....	31
Figura 9 - Distribuição dos valores de turbidez ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e no período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05. ....	32
Figura 10 - Distribuição dos valores de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e o período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05. ....	33
Figura 11 - Distribuição dos valores de alcalinidade total e dureza total ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e do período menos chuvoso (nov/18 e set/19). ....	35
Figura 12 - Distribuição dos valores de amônia ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e do período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05. ....	36
Figura 13 - Distribuição dos valores de surfactantes aniônicos ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e do período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05. ....	37

Figura 14 - Distribuição dos valores de Na, K, Ca, Mg, Pb, Ba, Al, Fe, Mn, Cu, Ni e As ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso e no período menos chuvoso. VMP: valor máximo permitido pelo CONAMA 357/05. .... 43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes responsáveis pela alcalinidade de uma solução, em função do pH (Von Sperling 2005).....	6
Tabela 2 – Grau de dureza das águas de acordo com a concentração de CaCO <sub>3</sub> presente Fonte: (Von Sperling 2005).....	6
Tabela 3 – Efeitos tóxicos de metais no organismo. ....	12
Tabela 4 - Coluna estratigráfica esquemática da região metropolitana de Belém. Fonte: Adaptado de Pinheiro (1987). ....	15
Tabela 5 - Metodologia e equipamentos empregados no estudo dos parâmetros físico-químicos.....	21
Tabela 6 - Características analíticas para a determinação de surfactantes aniônicos. ....	23
Tabela 7 - Condições de operação do instrumento de ICP-MS utilizado.....	24
Tabela 11 - Características analíticas para a determinação de metais por ICP-MS. ....	25
Tabela 8 - Relação dos parâmetros físico-químicos e seus respectivos valores limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05.....	26
Tabela 9 - Condições atmosféricas na hora de cada coleta, ao longo das quatro campanhas de amostragem. ....	27
Tabela 10 - Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados, tabulados em média e desvio padrão (DP), com análises feitas em triplicatas (n = 3). ....	39
Tabela 11 - Características analíticas para a determinação de metais por ICP-MS. ....	40
Tabela 12 - Concentração (mg L <sup>-1</sup> ) dos metais analisados por ICP-MS, para as quatro campanhas de amostragem. ....	46

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>APP</b>	Áreas de Proteção Permanente
<b>CE</b>	Condutividade Elétrica
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
<b>CMC</b>	Concentração Micelar Crítica
<b>CODEC</b>	Companhia de Desenvolvimento Econômico do Pará
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>DABEN</b>	Distrito Administrativo do Benguí
<b>DAICO</b>	Distrito Administrativo de Icoaraci
<b>DQO</b>	Demanda bioquímica de oxigênio
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>ICP-MS</b>	Espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado
<b>IG/UFPA</b>	Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil
<b>IUPAC</b>	International Union of Pure and Applied Chemistry
<b>LD</b>	Limite de detecção
<b>LQ</b>	Limite de quantificação
<b>MB</b>	Azul de metileno
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>MPPA</b>	Ministério Público Estadual do Pará
<b>NTU</b>	Unidade nefelométrica de turbidez
<b>PAC</b>	Programa de Aceleração do Crescimento
<b>pH</b>	Potencial hidrogeniônico
<b>PMB</b>	Prefeitura Municipal de Belém
<b>RMB</b>	Região Metropolitana de Belém
<b>SA</b>	Surfactantes aniônicos
<b>SDS</b>	Dodecil sulfato de sódio
<b>STD</b>	Sólidos Totais Dissolvidos
<b>T</b>	Temperatura
<b>USEPA</b>	United States Environmental Protection Agency
<b>UV/Vis</b>	Ultravioleta/Visível
<b>VMP</b>	Valor máximo permitido

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>EPÍGRAFE</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1 SIGNIFICADO AMBIENTAL DOS PARÂMETROS .....	4
2.1.1 Temperatura.....	4
2.1.2 Turbidez.....	5
2.1.3 Potencial hidrogeniônico - pH.....	5
2.1.4 Alcalinidade e dureza .....	5
2.1.5 Sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica .....	6
2.1.6 Amônia .....	7
2.1.7 Surfactantes aniônicos .....	8
2.1.8 Metais .....	9
<b>3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>13</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO.....	13
3.2 CLIMA .....	14
3.3 GEOLOGIA .....	15
3.4 VEGETAÇÃO.....	16
3.5 HIDROGRAFIA.....	16
3.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	17

<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>18</b>
4.1	AMOSTRAGEM.....	18
4.2	ANÁLISES EM LABORATÓRIO .....	21
4.2.1	Determinação de parâmetros físico-químicos .....	21
4.2.2	Determinação de Metais .....	23
4.3	TRATAMENTO DE DADOS .....	25
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
5.1	TEMPERATURA.....	28
5.2	PH.....	30
5.3	TURBIDEZ .....	31
5.4	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS.....	32
5.5	ALCALINIDADE TOTAL E DUREZA TOTAL .....	34
5.6	AMÔNIA.....	35
5.7	SURFACTANTES ANIÔNICOS (SA) .....	36
5.8	METAIS .....	40
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural imprescindível à vida e o mais abundante no planeta, constituindo 70% da superfície terrestre, no qual apenas 3% é composto por água doce, que pode ser destinada a suprir às necessidades humanas (Silva 2003). Por outro lado, cada vez mais os recursos hídricos vêm sendo alvo de um acelerado processo de degradação de seus aspectos químicos, físicos e biológicos, em razão da influência antropogênica, contribuindo para a escassez de água de boa qualidade (Silva *et al.* 2006).

Uma bacia hidrográfica é definida como uma área de captação de águas da chuva no qual suas vertentes convergem em direção a um único ponto de saída denominado exutório. As águas contidas nas bacias estão em constante movimento proporcionado pelo ciclo hidrológico no qual ela faz parte, renovando as águas e mantendo o equilíbrio dos ecossistemas. As atividades humanas, sejam em áreas urbanas, industriais ou agrícolas, se situam em território de alguma bacia hidrográfica. Logo, o contínuo processo de industrialização e urbano desordenado, atrelados a ausência de gestão das bacias hidrográficas urbanas, culminam na contaminação dos corpos hídricos (Porto & Porto 2008; Tucci 2000; Lopes 2008). O diagnóstico de uma bacia hidrográfica com base na qualidade de água reúne uma gama de informações sobre o corpo hídrico, tais como suas características químicas, físicas e biológicas. Esses dados permitem a construção de interpretações e reconhecimento de tendências ao longo do tempo e espaço (Fontanella *et al.* 2009).

A urbanização da Região Metropolitana de Belém (RMB), assim como a de muitas cidades amazônicas, se deu às margens de um rio: ao sul, banhado pelo rio Guamá; à oeste, banhado pela baía de Guajará. Canais distributários a esses rios se estendem ao longo da cidade, alimentando as bacias hidrográficas urbanas. No município de Belém, são reconhecidas 14 bacias hidrográficas: Tamandaré, Estrada Nova, Reduto, Una, Tucunduba, Murucutum, Aurá, Val-de-Cans, Cajé, Mata Fome, Paracuri, Outeiro, Ananin e Pratiqara (Lopes 2008).

A bacia hidrográfica do Paracuri é a terceira maior bacia hidrográfica da RMB, com 14,60 km<sup>2</sup> de extensão e é drenada pelos igarapés Paracuri e Livramento, que desembocam na baía de Guajará. A ocupação na bacia se dá principalmente por residências, contudo, também há presença de indústrias, comércio e polos de cerâmica – atividade tradicional da região – ao longo de suas principais vias de acesso (Barros *et al.* 2016). A urbanização na bacia do

Paracuri ocorreu de forma irregular e desordenada, gerando diversos problemas socioambientais. O processo de ocupação iniciou-se no século XIX, seguindo o “modelo amazônico”, com habitações de madeiras as margens dos rios. Até o início de 1980, havia florestas fechadas com poucas áreas urbanizadas, fator favorável à rica fauna e flora da região e os igarapés eram fontes de lazer, transporte e alimento aos moradores. Com o desenvolvimento industrial na região, ao final da década de 1980, provocado principalmente pela instalação de indústrias na rodovia Arthur Bernardes, ocorreu também um significativo crescimento demográfico, com o uso e ocupação do solo de forma desigual na bacia, no qual as áreas centrais foram habitadas pelas populações com melhor poder aquisitivo, enquanto a ocupação das zonas periféricas, sobretudo às margens dos igarapés, se deu pela população de baixa renda (Alcântara *et al.* 2014, Gomes 2014). Atualmente, nas proximidades da Rodovia Augusto Montenegro, as residências usufruem de saneamento básico e abastecimento de água de boa qualidade. Por outro lado, nas porções próximas à região de várzea, a urbanização se deu de forma precária, carente de saneamento e abastecimento, formando áreas classificadas pelo IBGE como aglomerados subnormais (Rodrigues *et al.* 2016).

A urbanização desordenada traz consigo impactos negativos ao meio ambiente. Ocupações em áreas que apresentam cotas topográficas mais baixas, na área de várzea dos igarapés, estão sujeitas a inundação principalmente no período chuvoso. Esse problema se intensifica em locais onde o acúmulo de resíduos sólidos e sedimentos depositados por moradores nas vias públicas obstrui os sistemas de drenagem urbana, e em porções onde há estreitamento do leito natural dos igarapés (Saraiva 2007). Esse fato, vinculado à deficiência de estações de tratamento de esgoto nas regiões periféricas, representa um grande risco às águas superficiais dos igarapés Paracuri e Livramento, pois toda a drenagem da bacia escoar diretamente para seus canais principais comprometendo a qualidade das águas.

A utilização dos recursos hídricos e dos demais recursos naturais de forma inadequada tem agravado nas últimas décadas, conseqüentemente gerando impactos não só na esfera ambiental, mas também na saúde humana e na economia (Guedes 2011, Paixão 2016). Dessa forma, a preocupação com problemas ambientais que levam à escassez de água e afetam a qualidade da mesma, torna a avaliação das características das águas uma temática importante.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A água pode apresentar qualidades variáveis, dependendo do local e das condições de sua origem, entretanto, os corpos de água estão sendo contaminados sistematicamente por

diversas fontes, tais como o lixo industrial e doméstico e os esgotos que são lançados sem o devido tratamento. Dessa forma, os igarapés Paracuri e Livramento, por se encontrarem em uma região carente de saneamento, estão constantemente submetidas às ações antrópicas.

Estes igarapés são meios de transporte, fonte de alimento a pescadores, além de trazer renda aos habitantes da região a partir da extração da argila às suas margens, matéria-prima utilizada na confecção de cerâmica no Distrito de Icoaraci. Além disso, esses cursos hídricos são utilizados para o abastecimento doméstico da população e para a recreação, principalmente por crianças. Não obstante, em áreas onde não há estações de tratamento de esgoto, também é frequente o despejo de efluentes domésticos e industriais diretamente nos igarapés, o que causa a contaminação dos corpos d'água e a degradação da qualidade das águas. Dessa forma, a degradação da qualidade das águas da bacia do Paracuri são cada vez mais acentuadas, e pode promover problemas de saúde à população, principalmente infanto-juvenil.

Diante disso, a realização do trabalho justifica-se por promover um monitoramento recente da qualidade das águas superficiais da bacia do Paracuri, sendo de suma importância para a compreensão e entendimento da influência antrópica e sua consequência nesse recurso hídrico.

## 1.2 OBJETIVOS

Este estudo teve por objetivo principal avaliar a qualidade das águas superficiais da bacia do Paracuri, a partir da comparação de resultados com a legislação brasileira. Os objetivos específicos foram:

- ↪ Correlacionar os resultados obtidos com o impacto ambiental e a sazonalidade climática;
- ↪ Contribuir com os estudos deste corpo hídrico, buscando conhecer as alterações em sua composição sob a influência da urbanização e crescente atividade industrial.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os critérios de qualidade de água no Brasil são estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, cuja resolução nº 357 de março de 2005 estabelece as condições e os padrões de lançamentos de efluentes visando uma meta de qualidade de água a ser alcançada ou mantida. Nessa resolução, os corpos d'água são divididos de acordo com a salinidade da água (águas doces, salobras e salinas) e classificadas conforme os usos pretendidos para esse corpo hídrico. Neste trabalho, foi considerado os padrões estipulados para águas doces classe 2, que têm seu uso destinado às seguintes atividades:

- ↪ Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- ↪ Proteção das comunidades aquáticas;
- ↪ Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;
- ↪ Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- ↪ Aquicultura e pesca.

### 2.1 SIGNIFICADO AMBIENTAL DOS PARÂMETROS

#### 2.1.1 Temperatura

A temperatura é uma medida física de intensidade de calor, medida em graus Celsius (°C). Nas águas, a temperatura resulta da transferência de calor através do solo ou pela radiação solar, portanto, varia ao longo do dia e de acordo com a sazonalidade climática (Silva *et al.* 2007). Esse parâmetro também pode variar em função de despejos de efluentes industriais e usinas termoelétricas.

Organismos aquáticos são adaptados a determinadas temperaturas em seu habitat. Um exemplo disso são os peixes de águas frias que têm menor tolerância a mudanças de temperatura e as variações térmicas do meio podem diminuir drasticamente sua população (Mohseni *et al.* 2003). Além disso, o aumento da temperatura ocasiona o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DQO), ou seja, a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica. Isso, portanto, diminui a quantidade de oxigênio dissolvido nas águas, que é um componente essencial para a manutenção de ecossistemas aquáticos, pois influencia no metabolismo de seres aeróbios (Foley *et al.* 2009).

### 2.1.2 Turbidez

A turbidez é um parâmetro físico da água, medido em UNT (unidade nefelométrica de turbidez). Refere-se ao grau de atenuação da luz solar ao passar pela água, o que reduz sua transparência. É causada naturalmente pela existência de materiais em suspensão, como sedimentos (silte e argila), matéria orgânica e micro-organismos (Von Sperling 2005).

Fatores antrópicos podem contribuir para a elevação da turbidez, como lançamento de efluentes domésticos e industriais. A destruição da mata ciliar colabora para o aumento do volume de sedimentos nos corpos hídricos, inibindo a passagem de luz, prejudicando a fotossíntese de algas e plantas aquáticas. Esse fator pode ser ainda mais crítico em períodos chuvosos, uma vez que as chuvas transportam sedimentos lixiviados das margens dos rios (Santos & Lucas Júnior 2017). Desastres ambientais, como nos recentes casos de rompimentos de barragens no Brasil, aumentam significativamente a turbidez de águas naturais, ocasionando morte de peixes e outros animais que habitavam aquele recurso hídrico (Farias 2019). Além disso, compostos químicos tóxicos orgânicos e inorgânicos podem estar atrelados à turbidez, trazendo riscos à saúde humana (Foley *et al.* 2009).

### 2.1.3 Potencial hidrogeniônico - pH

O pH expressa a concentração de íons hidrogênio em uma solução, indicando a acidez ( $\text{pH} < 7$ ), alcalinidade ( $\text{pH} > 7$ ) ou neutralidade ( $\text{pH} = 7$ ) do meio (Foley *et al.* 2009). O pH das águas naturais pode ser condicionado tanto a fatores ambientais – dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese – quanto a influência antropogênica, pelo despejo de efluentes domésticos e industriais (Von Sperling 2005). O controle do pH é importante para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, influenciando diretamente na bioquímica de diversos organismos. Em geral, valores baixos de pH podem contribuir para precipitação de substâncias tóxicas em águas, como metais pesados (ANA 2013). A manutenção do pH também é importante para preservação de construções, pois valores de pH afastados da neutralidade podem ter efeitos corrosivos ou promover incrustações em dutos.

### 2.1.4 Alcalinidade e dureza

A alcalinidade da água é definida como a propriedade que a água possui de neutralizar ácidos. Está associada à presença de compostos como carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ), que ocorrem em função do pH do meio, de acordo com a Tabela

1. Boratos, fosfatos e silicatos também podem contribuir para a alcalinidade, em menor proporção (APHA 1999). A origem natural da alcalinidade está associada à dissolução de rochas e reação do  $\text{CO}_2$  com a água. O estudo da alcalinidade em águas naturais é importante porque, juntamente com o pH, podem afetar o metabolismo dos seres aquáticos (EMBRAPA 2011). A alcalinidade é estimada em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ .

Tabela 1 - Componentes responsáveis pela alcalinidade de uma solução, em função do pH.

pH	Íons
> 9,4	$\text{OH}^-$ e $\text{CO}_3^{2-}$
8,3 - 9,4	$\text{CO}_3^{2-}$ e $\text{HCO}_3^-$
4,4 - 8,3	$\text{HCO}_3^-$

Fonte: (Von Sperling 2005).

A dureza das águas naturais denota a magnitude da dissolução de minerais e de rochas calciomagnesianas, e depende da concentração de cátions na água, principalmente o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , além de outros como  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  (EMBRAPA 2011, Foley *et al.* 2009). Águas consideradas duras requerem grandes quantidades de sabão, pois reduzem a formação de espumas e podem causar incrustações em tubulações (Von Sperling 2005). A dureza é medida em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  e classifica as águas em graus de dureza, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Grau de dureza das águas de acordo com a concentração de  $\text{CaCO}_3$  presente.

$\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$	Grau de dureza
< 50	Água mole
50 a 150	Dureza moderada
150 a 300	Água dura
> 300	Água muito dura

Fonte: (Von Sperling 2005).

### 2.1.5 Sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica

Sólidos totais dissolvidos (STD) correspondem ao teor total de componentes químicos dissolvidos na água. Refere-se à matéria que permanece na solução, mesmo após a filtração, evaporação e secagem (Sonrensen *et al.* 1977). Os sólidos dissolvidos são produtos naturais

da lixiviação de solos e erosão de rochas, mas também podem ser alterados em função de entradas de efluentes industriais no meio aquático, aumento da pluviosidade, maior demanda no uso dos recursos hídricos e incursão de águas salinas (Webber-Scannell & Duffy 2007).

A ionização das substâncias dissolvidas confere às águas a capacidade de conduzir corrente elétrica. Por isso, os STD são estatisticamente relacionáveis a condutividade elétrica (CE). A CE é um parâmetro medido em  $\mu\text{S cm}^{-1}$  ou  $\text{mS cm}^{-1}$ , que varia de acordo com o grau de concentração e características dos íons (*e.g.* mobilidade, carga, tamanho) presentes na água e com temperatura da mesma (Carvalho *et al.* 2000). A concentração de STD pode ser estimada a partir da CE multiplicando o valor deste parâmetro pelo fator de conversão de 0,67 (Frančišković-Bilinski *et al.* 2013, Foley *et al.* 2009)

### 2.1.6 Amônia

Em ambientes aquáticos, a liberação de amônia ocorre naturalmente como resultado da decomposição de compostos nitrogenados, como a ureia, por bactérias em um processo denominado amonificação (CETESB 2016). No entanto, as principais fontes de amônia em águas naturais são os esgotos domésticos e os fertilizantes nitrogenados amoniacais, como sulfato de amônia, fosfatos monoamônicos e diamônicos (Macêdo & Sipaúba-Tavares 2010, Pereira & Mercante 2005). Também pode ser formada pela biofixação do nitrogênio e hidrogênio atmosférico por cianobactérias, além de ser produzida e excretada por peixes. Adicionalmente, ainda pode ser proveniente de efluentes de indústrias químicas, matadouros e curtumes (CETESB 2016, USEPA 2013, Reis & Mendonça 2009).

O nitrogênio amoniacal total compreende a amônia nas suas formas molecular ( $\text{NH}_3$ ) e ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ). A amônia molecular representa a espécie mais tóxica, enquanto a forma ionizada é atribuída nenhuma ou pouca toxicidade (Emerson *et al.* 1975, Reis & Mendonça 2009). O equilíbrio entre a forma ionizada e a não ionizada de amônia depende, predominantemente, da temperatura e do pH das águas, sendo que a concentração de  $\text{NH}_3$  cresce com o aumento do pH e da temperatura das águas (Emerson *et al.* 1975). Há diferenças no nível de tolerância à toxicidade a  $\text{NH}_3$  por parte dos seres aquáticos. Por exemplo, algas tendem a ter maior tolerância à amônia, pois a utilizam como forma de obtenção de nitrogênio (Källqvist & Svenson 2003). Já moluscos, peixes e crustáceos, principalmente nas regiões tropicais, são as espécies mais sensíveis aos efeitos tóxicos dessa substância (Wang & Leung 2015). As principais consequências dos efeitos tóxicos da amônia nesses organismos incluem a proliferação de  $\text{NH}_3$  nos tecidos epiteliais de órgãos como as brânquias, a redução da

oxigenação sanguínea e distúrbios de atividade osmorregulatórias e circulatória. Essas implicações afetam o funcionamento metabólico de rins e fígado destes animais (USEPA 2013).

Para a determinação de amônia a técnica mais utilizada é a espectrofotometria de absorção molecular no UV/Vis, destacando-se os métodos baseados no reagente de *Nessler* e na reação de *Berthelot*. O reagente de *Nessler* é um dos mais usados, pois se é um método que apresenta alta sensibilidade e seletividade (Ivanov *et al.* 2005). Este reagente é uma solução alcalina de tetraiodomercurato de potássio ( $K_2HgI_4$ ), a qual é obtida a partir da mistura de soluções de iodeto de potássio, iodeto de mercúrio (II) e hidróxido de sódio. A reação do reagente de *Nessler* com amônia produz um complexo de fórmula  $NH_2-Hg_2I_3$ , que possui coloração amarelo-pálido. A medida do complexo formado é frequentemente realizada entre 400-450 nm (Liebhafsky & Bronk 1948, Thompson & Morrison 1951).

### 2.1.7 Surfactantes aniônicos

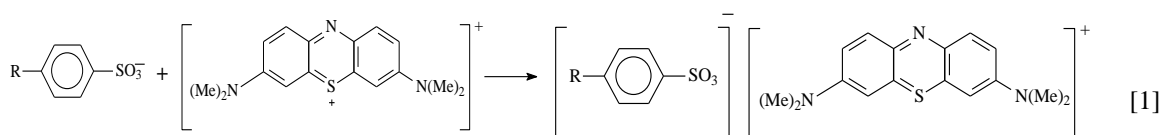
Surfactantes, ou tensoativos, são substâncias formadas por moléculas anfipáticas, ou seja, estruturas químicas constituídas por partes hidrofílica e hidrofóbica simultaneamente. Quando presentes em corpos hídricos são provenientes da ação antropogênica, pois essas substâncias são comumente encontradas em águas residuais e atingem o meio ambiente por meio do despejo inadequado de efluentes (Scott & Jones 2000).

Os surfactantes podem ser classificados como aniônicos, catiônicos, não-iônicos ou anfotéricos, de acordo com a carga presente na região hidrofílica das moléculas (Yuan *et al.* 2014). A categoria mais comum é a de surfactantes aniônicos (SA), que constituem o principal componente das formulações de detergentes. Essas formulações são extensivamente utilizadas em produtos domésticos e industriais, como sabões, detergentes, óleos e cosméticos (Kurrey *et al.* 2019), abrangendo de 70 a 75% do uso mundial de tensoativos (Myers 2006). Devido ao aumento do número de produtos contendo SA, do uso e consequente descarte, caracterizaram os SA como um dos maiores responsáveis pela poluição das águas nos centros urbanos.

O despejo indiscriminado de surfactantes em águas naturais pode gerar riscos ao meio ambiente e causar reações adversas aos vários organismos. Por possuírem estrutura química anfifílica, os SA quando em contato com um solvente, como a água, se acumulam na interface água/ar. Por consequência, a coesão entre as moléculas na superfície da solução diminui e

reduz a tensão superficial da água, permitindo que outros poluentes possam fluir com mais facilidade (Felipe & Dias 2016, Kurrey *et al.* 2019). Entre as potenciais implicações, podemos citar: o retardamento do crescimento de plantas e algas, que pode afetar a cadeia alimentar dos corpos d'água (Yuan *et al.* 2014), a modificação do comportamento de peixes, por meio de espasmos e movimentos irregulares (Cserháti *et al.* 2002), a morte de bactérias, fungos e outros micro-organismos, além de riscos à própria saúde humana, como irritações da pele, olhos e sistema respiratório (Kurrey *et al.* 2019). Além disso, o acúmulo de SA pode causar a formação de espumas que, além de prejudicar os rios esteticamente, reduz a passagem de raios solares e a solubilidade do oxigênio nas águas, prejudicando o processo de trocas gasosas entre o ambiente aquático e a atmosfera (Felipe & Dias 2016).

O procedimento de referência para a determinação de surfactantes aniônicos em águas naturais, efluentes domésticos, industriais e de abastecimento, estabelecido pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA 1999), é baseado no método espectrofotométrico do azul do metileno (MB) com sucessivas extrações em clorofórmio do par iônico formado entre o corante catiônico e os analitos (Equação 1), que pode ser monitorado espectrofotometricamente a 660 nm.



Embora seja recomendado como procedimento de referência, o método do MB é requer grandes quantidades de amostra e solventes orgânicos (*ca.* 100 mL CHCl<sub>3</sub> por determinação), com conseqüente geração de elevados volumes de efluentes, que o torna caro e não ambientalmente recomendável. Nesse sentido, vários procedimentos alternativos, simplificaram o procedimento em batelada, reduzindo em até vinte vezes o volume de clorofórmio e empregando metade do volume de amostra. Desta forma, a literatura reporta procedimentos analíticos validados para a determinação espectrofotométrica de SA empregando método de extração modificado visando diminuir a consumo de amostra, solventes orgânicos e o tempo de análise. (Adak *et al.* 2005, Jurado *et al.* 2006, Kikuchi *et al.* 2011, Koga *et al.* 1999).

### 2.1.8 Metais

A presença de metais em águas naturais, em termos qualitativos e quantitativos, é intrinsecamente ligada à geologia local. A interação entre a água e os minerais que compõem

as rochas promove o intemperismo, responsável pelos íons dissolvidos nos corpos hídricos (Hem 1985). Fatores hidrológicos, bioquímicos e atmosféricos também podem contribuir para a alteração desses elementos nas águas. Escoamento superficial e atividades antrópicas como mineração, despejos de efluentes industriais e domésticos em cursos d'água também constituem fonte de metais nas águas (Förstner & Wittman 1983).

Alguns metais são indispensáveis para o desempenho adequado das funções bioquímicas e fisiológicas de organismos como é o caso do sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca). Elementos como ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), níquel (Ni) e cobre (Cu) também são essenciais para os organismos, porém em menores quantidades (Tchounwou *et al.* 2012, Ochiai 1995). No entanto, deve ser salientado que mesmo sendo elementos essenciais, quando em quantidades anômalas podem ser prejudiciais (Förstner & Wittman 1983). Metais que não tem função biológica definida, como chumbo (Pb), cádmio (Cd), arsênio (As) e bário (Ba), são reconhecidos como altamente tóxicos e de caráter bioacumulativo (Förstner & Wittman 1983). A Tabela 3 mostra os principais efeitos da toxicidade de metais ao ser humano.

O sódio e o potássio são metais alcalinos, comuns em corpos d'água na forma de cátions monovalentes e essenciais para atividades metabólicas em animais e plantas. O Na pode ser proveniente do intemperismo de minerais sódicos, como a albita, e forma sais facilmente solúveis em água, com forte tendência a manter-se em solução (CETESB 2016, Förstner & Wittman 1983). O K também forma sais altamente solúveis em água, no entanto, é menos comum que o sódio nas águas naturais por ser facilmente incorporado a argilominerais e por formar minerais silicatados resistentes ao intemperismo (Hem 1985). É um elemento muito utilizado em produtos agrícolas como fertilizantes e adubos, portanto, também podem ocorrer nas águas a partir do escoamento superficial dos solos fertilizados (EMBRAPA 2011).

Os metais alcalinos terrosos mais abundantes na natureza são o cálcio e o magnésio, e ocorrem nas águas na forma de cátions bivalentes ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , sendo os principais responsáveis pela dureza das águas, conforme apresentado no item 2.1.4 (CETESB 2016). Rochas carbonáticas constituem a principal fonte de Ca nas águas naturais, mas também pode ser proveniente de minerais formadores de rochas ígneas, como anortita, anfibólios e piroxênios. O magnésio por sua vez, ocorre em rochas como dolomitos e em minerais ferromagnesianos, como olivinas, anfibólios, piroxênios e biotitas (Hem 1985). O Ba ocorre na natureza ligado a outros elementos químicos. O mineral mais conhecido que o contém em

sua composição é a barita ( $\text{BaSO}_4$ ), utilizada na indústrias petrolífera, têxtil e na fabricação de plásticos e borracha (Cunha *et al.* 2006, MME 2009).

O alumínio é um dos elementos mais abundantes na terra, presente em diversos minerais silicatados, como feldspatos, micas e alguns argilominerais, porém, não é essencial aos organismos (Hem 1985). Ocorre em baixas concentrações em águas naturais, com exceções a águas com pH baixo e em épocas de chuva, associado ao aumento da turbidez (CETESB 2016). Pode ser tóxico em altas concentrações.

A concentração de ferro em águas naturais varia de acordo com seu estado de oxidação, pois este elemento forma compostos solúveis quando se encontra no seu estado reduzido ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e precipita na sua forma oxidada ( $\text{Fe}^{3+}$ ), dependendo do pH do meio (Hem 1985). Além disso, em períodos chuvosos o teor de Fe nas águas pode aumentar devido a lixiviação dos solos (CETESB 2016). O Fe está presente em diversos minerais máficos, como olivinas, piroxênios, anfibólios, biotitas e magnetitas. Também ocorre em minerais secundários, produtos de alterações intempéricas, formando minerais como goetitas e hematitas (Hem 1985). O Fe é um elemento essencial ao organismo humano, presente nas células sanguíneas auxiliando na respiração celular (Förstner & Wittman 1983). O manganês tem propriedades químicas semelhante as do ferro, portanto, ocorre substituindo-o na estrutura de minerais silicatados (Hem 1985). É solúvel em água na sua forma  $\text{Mn}^{2+}$ , mas pode formar precipitados negros no seu estado de oxidação  $\text{Mn}^{4+}$  (CETESB 2016).

Metais como Zn, Cu e Ni estão presentes em seres vivos como micronutrientes e ocorrem em baixas concentrações em águas naturais. Na indústria metalúrgica, são utilizados como ligas metálicas, presentes em encanamentos e tubulações. Por esse motivo, esses metais podem ser mais comuns em águas de torneiras do que em águas superficiais (Hem 1985). Em águas residuais, podem ser oriundos de efluentes de diversos tipos de indústrias. O cobre é um elemento comum a esgotos de indústrias de tingimentos têxteis, assim como o níquel, que pode também ser encontrado em efluentes de panificadoras. O zinco é comum em efluentes de indústrias de bebidas e aromatizantes (Förstner & Wittman 1983).

Arsênio e metais pesados como chumbo e cádmio ocorrem naturalmente como elementos traço em minerais. Fatores antropogênicos podem contribuir para o aumento da concentração desses elementos em cursos d'água. O As é utilizado como componente em produtos agrícolas como pesticidas e herbicidas, o Pb pode ser liberado a partir da queima de combustíveis fósseis e juntamente com o Cd é utilizado em baterias (Tchounwou *et al.* 2012).

O escoamento superficial em áreas urbanas, agrícolas e em aterros sanitários pode carregar esses componentes tóxicos até as águas superficiais, ocasionando riscos aos ecossistemas aquáticos e à saúde humana (Förstner & Wittman 1983). Os metais por serem não-degradáveis podem se acumular e manifestar sua toxicidade. Por isso, se faz necessário realizar análises da água que potencialmente são utilizadas pela comunidade, uma vez, que sintomas que vão desde um simples mal-estar até uma intoxicação grave causados pelo consumo de água de baixa qualidade.

Tabela 3 – Efeitos tóxicos de metais no organismo.

Metais	Efeitos da intoxicação	Referências
Al	Problemas no sistema nervoso, fator de risco para a doença de Alzheimer	Ferreira <i>et al.</i> (2008)
As	Doenças cutâneas, gastroenterite, neuropatia, inibe a respiração celular, pode ser carcinogênico	Andrade & Rocha (2016)
Ba	Gastroenterite, fraqueza e dores musculares, insuficiência respiratória	Cunha <i>et al.</i> (2006)
Cd	Enfraquecimento dos dentes, perda de olfato, problemas na medula óssea, deformações na estrutura óssea e fraturas	Förstner & Wittman (1983)
Cu	Gastroenterite, anemia, necrose hepática	Díaz <i>et al.</i> (2015)
Pb	Problemas cerebrais (cefaleia, perda de memória, depressão, irritabilidade, convulsões e coma), insuficiência renal	Capitani (2009)

A determinação de metais é realizada principalmente por métodos de espectrometria atômica, que utilizam a radiação eletromagnética que é absorvida ou emitida pelos átomos da amostra. Por meio destes métodos, é possível obter informações das amostras em estudo, qualitativo ou quantitativamente. A informação qualitativa é fornecida pelo comprimento de onda no qual a radiação é absorvida ou emitida e a informação quantitativa é fornecida pela quantidade de radiação eletromagnética que é absorvida ou emitida (Skoog *et al.* 2006). Entre esses métodos podemos citar a espectrometria de absorção atômica com chama ou com atomização eletrotérmica e de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado. Esta última é caracterizada por apresentar caráter multielementar, baixos limites de detecção e consequentemente alta sensibilidade, que justificam sua aplicação nas análises de elementos traço como os metais pesados.

### 3 ASPECTOS FIOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

A bacia hidrográfica do Paracuri exibe 14,60 km<sup>2</sup> de extensão territorial e localiza-se na porção noroeste da RMB, e compreende os Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO) e do Benguí (DABEN). Abrange os bairros do Paracuri, Agulha, Ponta Grossa, Parque do Guajará e parcialmente os bairros do Tapanã e Parque Verde (Figura 1). Os bairros são drenados pelos igarapés Paracuri e Livramento, que juntos totalizam 13,9 km de extensão (Saraiva *et al.* 2017). O acesso à bacia pode ser feito por via fluvial ou terrestre pelas rodovias Augusto Montenegro (que delimita a margem leste da bacia) e Arthur Bernardes (delimita a margem oeste) que constituem as principais vias de acesso.

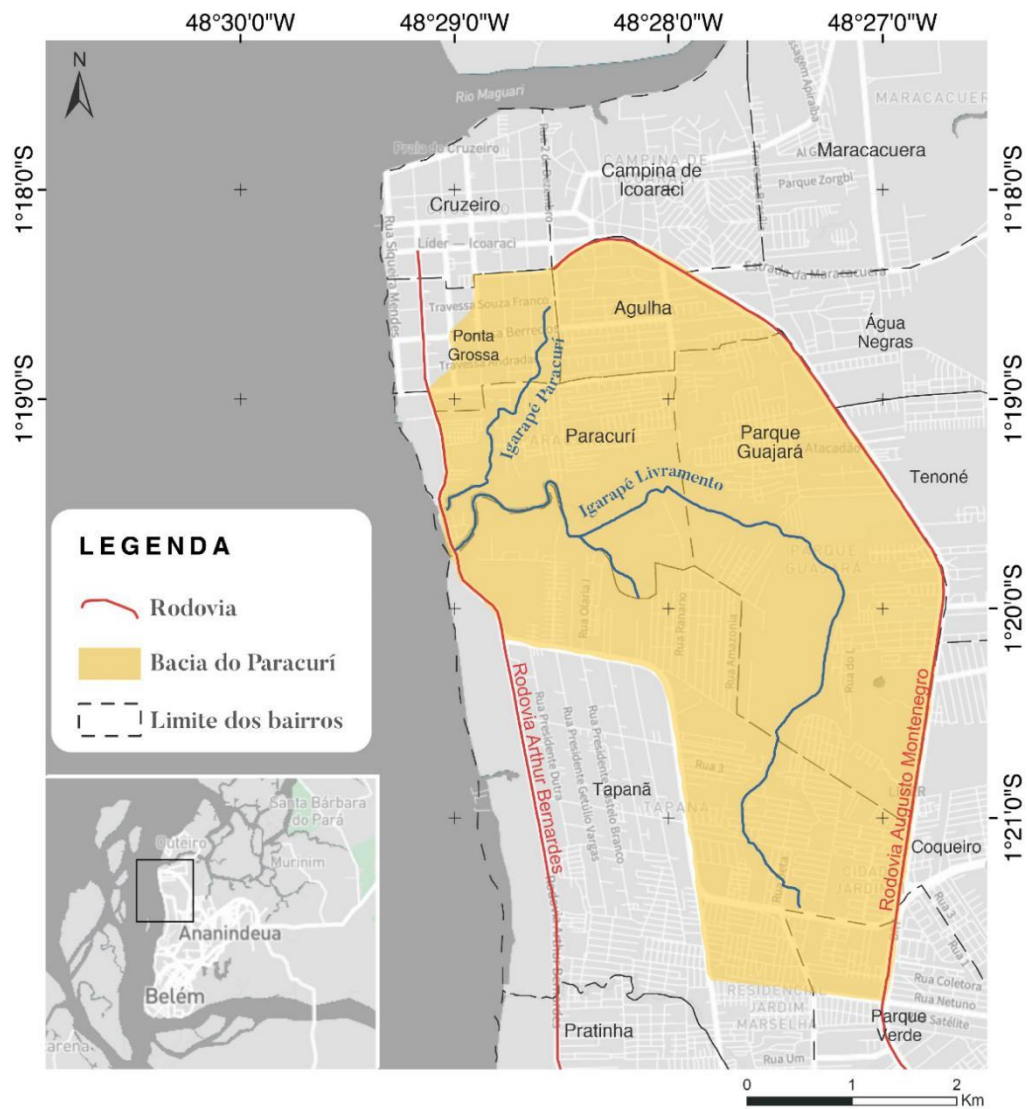


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Paracuri.

### 3.2 CLIMA

A RMB apresenta clima quente e úmido, caracterizada pela abundância de precipitação pluviométrica ao decorrer do ano, e por não apresentar meses secos bem definidos, com umidade relativa acima de 80% em todos os meses do ano (Moraes *et al.* 2005).

O clima de Belém possui dois períodos sazonais, definidos pela precipitação: o período menos chuvoso da região, que correspondem ao inverno (junho a agosto) e primavera (setembro a novembro) austral, e o período chuvoso, que ocorre durante o verão (dezembro a fevereiro) e outono (março a maio). Durante o período chuvoso as médias de precipitação variam entre 860 a 1080 mm para o verão e outono, respectivamente, e entre 451 mm no inverno e 256 mm na primavera, durante o período menos chuvoso. A precipitação média anual na RMB ultrapassa 2500 mm (Albuquerque *et al.* 2010).

A temperatura média do ar se encontra acima de 25 °C durante o ano todo, com pequenas variações sazonais. As menores temperaturas ocorrem nos meses mais chuvosos, e se eleva à medida que a nebulosidade diminui, durante o período menos chuvoso da região (Moraes *et al.* 2005). A Figura 2 mostra variação da precipitação pela temperatura do ar durante o período de estudo, a partir de dados obtidos pelo INMET (2019).

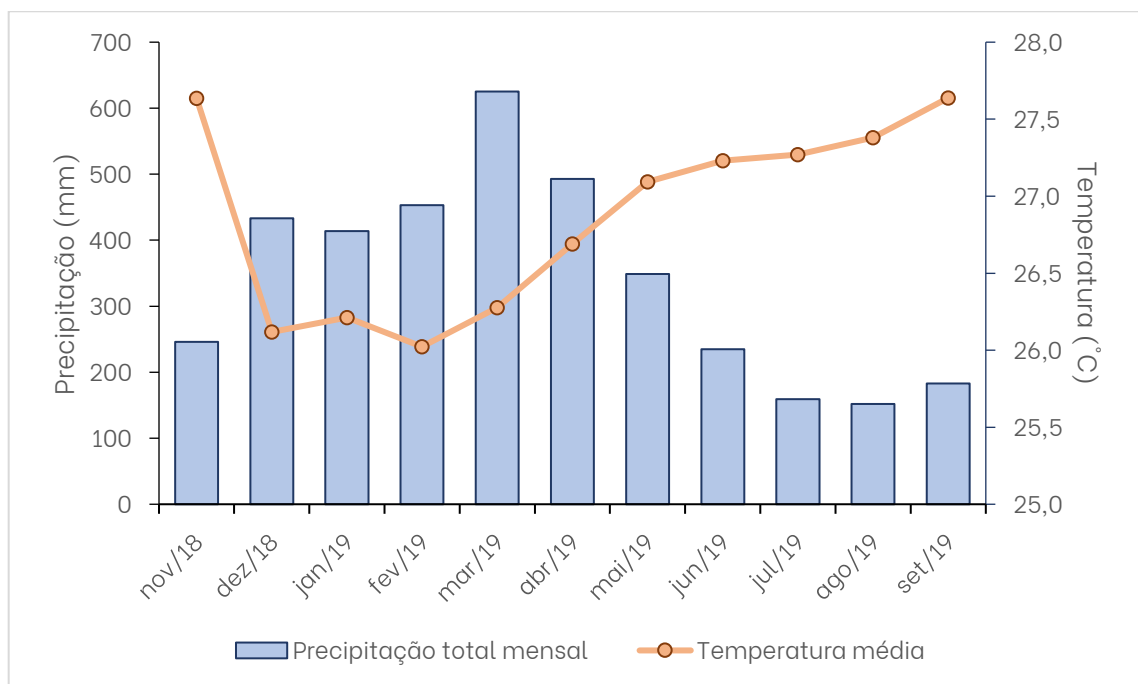


Figura 2 - Precipitação média mensal (mm) e temperatura média mensal do ar (°C), durante o período de estudo (novembro de 2018 a setembro de 2019). Fonte: INMET (2019).

### 3.3 GEOLOGIA

O arcabouço litoestratigráfico da RMB é representado por unidades cenozoicas, são estas: as formações Pirabas (Neo-Oligoceno ao Eomioceno) e Barreiras (Meso a Neomioceno) e os Sedimentos Pós-Barreiras (Pleistoceno ao Holoceno). A disposição estratigráfica está presente na Tabela 4.

Tabela 4 - Coluna estratigráfica esquemática da região metropolitana de Belém. Fonte: Adaptado de Pinheiro (1987).

Era	Período	Época		Unidade Geológica
Cenozoico	Quaternário	Holoceno		Sedimentos Pós-Barreiras
		Pleistoceno		
	Neógeno	Mioceno	Neo	Formação Barreiras
			Meso	
			Eo	
Paleógeno	Neo-Oligoceno		Formação Pirabas	

A Formação Pirabas aflora principalmente nas regiões litorâneas do nordeste do Pará e no Maranhão; na RMB é encontrada apenas em profundidades superiores a 80 metros. Corresponde a depósitos carbonáticos de ambiente marinho-transicional plataformar, cujas principais fácies consistem em biocalcirruditos, margas, calcilutitos e bioermitos. É notória pelo seu conteúdo fossilífero, que caracteriza a fauna marinha cenozoica (Góes *et al.* 1990, Rossetti 2006).

A Formação Barreira aflora ao longo da costa brasileira, do Rio de Janeiro ao Amapá. Corresponde à uma sequência sedimentar siliciclástica, de ambiente fluvial dominados por correntes de maré, de arenitos quartzosos, intercalações heterolíticas, argilitos e conglomerados de cores variegadas. No topo desta formação, a discordância é evidenciada por meio do solo laterítico e de concreções ferruginosas (Rossetti 2006, Rossetti *et al.* 1990).

Os Sedimentos Pós-Barreiras formam contato erosivo com a formação sotoposta, e consistem em sedimentos predominantemente arenosos, de cores variegadas, granulometria fina a média, de seleção boa a moderada, friáveis a endurecidos, apresentando localmente porções conglomeráticas e argilitos bioturbados (Tatumi *et al.* 2008).

### 3.4 VEGETAÇÃO

São encontrados dois tipos predominantes de vegetação: as matas de várzea e as matas de terra-firme. A vegetação de várzea ocorre ao longo das margens dos rios e igarapés, com plantas e organismos adaptados a inundação sazonal da região. As matas de terra-firme, por sua vez, caracterizam-se pela variedade de espécies arbóreas e estão sujeitas a alterações e desmatamento (Gama *et al.* 2005). O crescimento da urbanização, por conseguinte, provocou a diminuição das áreas vegetadas, de forma que na bacia estudada houve redução de 63% das áreas vegetadas entre os anos de 1977 a 2010 (Lisboa 2013). Como consequência à alta taxa de desmatamento e ocupação em drenagens, a bacia apresenta alta vulnerabilidade a inundações. Apesar disso, ainda é possível constatar leito natural e vegetação ciliar preservada na bacia.

### 3.5 HIDROGRAFIA

A RMB é banhada por duas grandes bacias hidrográficas: a do rio Guamá, à margem sul e pela baía de Guajará, à margem oeste. Os cursos d'água aqui estudados desembocam na baía de Guajará, portanto, são diretamente influenciados pela maré estuarina.

A baía de Guajará é formada pela confluência dos rios Guamá e Acará-Moju, com ligação livre com o oceano, cujas águas do mar são efetivamente diluídas em função da drenagem fluvial. Apresenta mesomarés semi-diurnas, com alcance médio de 3 metros, no qual o período preamar (subida do nível da água) dura cerca de 5 horas, e a baixamar (vazante da maré) leva 8 horas (Gregório & Mendes 2009, Pinheiro 1987, Saraiva 2007). O fundo da baía é recoberto por sedimentos arenosos nos canais estuarinos, depositados sob condições de forte hidrodinâmica. Já os canais existentes as margens da baía têm sedimentação predominantemente lamosa, que indica deposição em ambiente mais calmo (El Robrini *et al.* 2018, Corrêa 2005).

As águas da baía de Guajará são alvos de diversos estudos ao longo do tempo, sobretudo por estar submetida a um constante processo de degradação ambiental proveniente das atividades antrópicas da cidade de Belém, uma vez que grande parte dos canais, igarapés e furos da cidade desaguardam nessa baía. Além disso, as atividades portuárias, comuns na orla da cidade de Belém, configuram atividades de alto potencial de impactos ambientais, principalmente pelo risco de lançamento de derivados de hidrocarbonetos provenientes do

abastecimento das navegações, e de efluentes de indústrias navais, que podem ser fonte de metais pesados (Santos 2014, Sodré 2014, Barbosa *et al.* 2012).

### 3.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A ocupação da bacia do Paracuri se deu por comércios, indústrias e, majoritariamente, assentamentos habitacionais. As indústrias foram posicionadas preferencialmente nas orlas ou ao longo da rodovia Augusto Montenegro. Os principais tipos de indústrias localizados nessa bacia, principalmente na porção que compreende o DAICO, são dedicados a construção naval, metalurgia, beneficiamento de madeira, extrativismo vegetal, logística e distribuição (CODEC 2019). O comércio, além das tradicionais lojas varejistas, é um dos principais polos ceramistas da região norte, tradição herdada dos antigos povos marajoaras. A argila, matéria-prima da produção de cerâmica, é retirada do leito dos igarapés Paracuri Livramento e beneficiada para produção de diferentes objetos como vasos, panelas, pratos e estatuetas. Esse segmento comercial é comandado principalmente por famílias artesãs, cuja principal fonte de renda é proveniente da venda de cerâmica (Vieira *et al.* 2016).

A estrutura urbana referente aos assentamentos habitacionais se deu de acordo com a renda da população. Dessa forma, às margens dos igarapés Paracuri e Livramento que, pelo Código Florestal, conforme a Lei nº 12.651/2012, são definidas como Áreas de Proteção Permanente (APPs), foram ocupadas principalmente pela ocupação de baixa renda. Dados do censo do IBGE (2010) revelaram que 87,8% dos habitantes da bacia do Paracuri habitavam em aglomerados subnormais, locais de infraestrutura precária com carência de saneamento básico (Gonzaga & Rodrigues 2014). Em 2012, a Prefeitura Municipal de Belém (PMB) deu início ao projeto de urbanização da bacia do Paracuri, financiado pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), a fim de implantar sistemas de macro- e microdrenagem, criar uma estação de tratamento de esgoto, além de prover habitações, sistema viário e áreas de lazer à população que habita as margens dos cursos d'água (Rodrigues *et al.* 2016). Contudo, até o final do presente ano (2019) o projeto não foi entregue a população, e apenas recentemente, por ordem da Justiça, foi determinado a entrega das obras até o final de 2020, de acordo com o Ministério Público Estadual do Pará (MPPA 2019).

## 4 METODOLOGIA

A metodologia empregada para o desenvolvimento desse trabalho foi dividida em quatro etapas principais (Figura 3): levantamento bibliográfico, amostragem, análises laboratoriais e tratamento de dados. As etapas de trabalho foram elaboradas a partir de um referencial teórico-metodológico que proporcionasse sustentação à pesquisa. Dessa forma, os estudos preliminares foram voltados à importância das características físico-química de águas superficiais, além do conhecimento da área de estudo e das interações entre a sociedade e o meio-físico. O levantamento bibliográfico de temas pertinentes à área ambiental foi de suma importância para a construção de ideias que auxiliassem às conclusões da pesquisa.

### 4.1 AMOSTRAGEM

As coletas de águas foram executadas em quatro campanhas de amostragem, de forma sazonal, com objetivo de verificar o comportamento do corpo hídrico nos períodos de maior e menor precipitação. A primeira campanha foi realizada em novembro de 2018, final do período menos chuvoso da região. Em abril e maio de 2019, foram feitas as coletas para o período mais chuvoso da região, compreendendo, respectivamente, um dos meses com maior índice de pluviosidade e o mês que encerra o período chuvoso. A última campanha de amostragem foi realizada no mês de setembro de 2019 que, de acordo com a literatura, é um dos meses com o menor índice de chuvas no nordeste paraense.

Para selecionar os pontos de amostragem, foram feitos estudos prévios da área, por meio de imagens de satélites pelo aplicativo *Google Earth Pro* e com auxílio de imagens de *Street View*, além de uma visita à área de estudo. Foram escolhidos seis pontos de amostragem próximos a foz dos igarapés que compõem a bacia, pois todo o escoamento, assim como todos os resíduos lançados nesses córregos, converge para esse ponto. Além disso, foram consideradas as áreas de maior influência antrópica. O acesso aos pontos de coleta se deu pela Rodovia Arthur Bernardes, com dois pontos de amostragem localizados no igarapé Paracuri, com acesso pelas residências às margens deste corpo hídrico. Outros quatro pontos foram estabelecidos no igarapé Livramento, na área de influência de uma serraria e uma indústria de construção civil. A localização de cada ponto de amostragem está identificada na Figura 4.

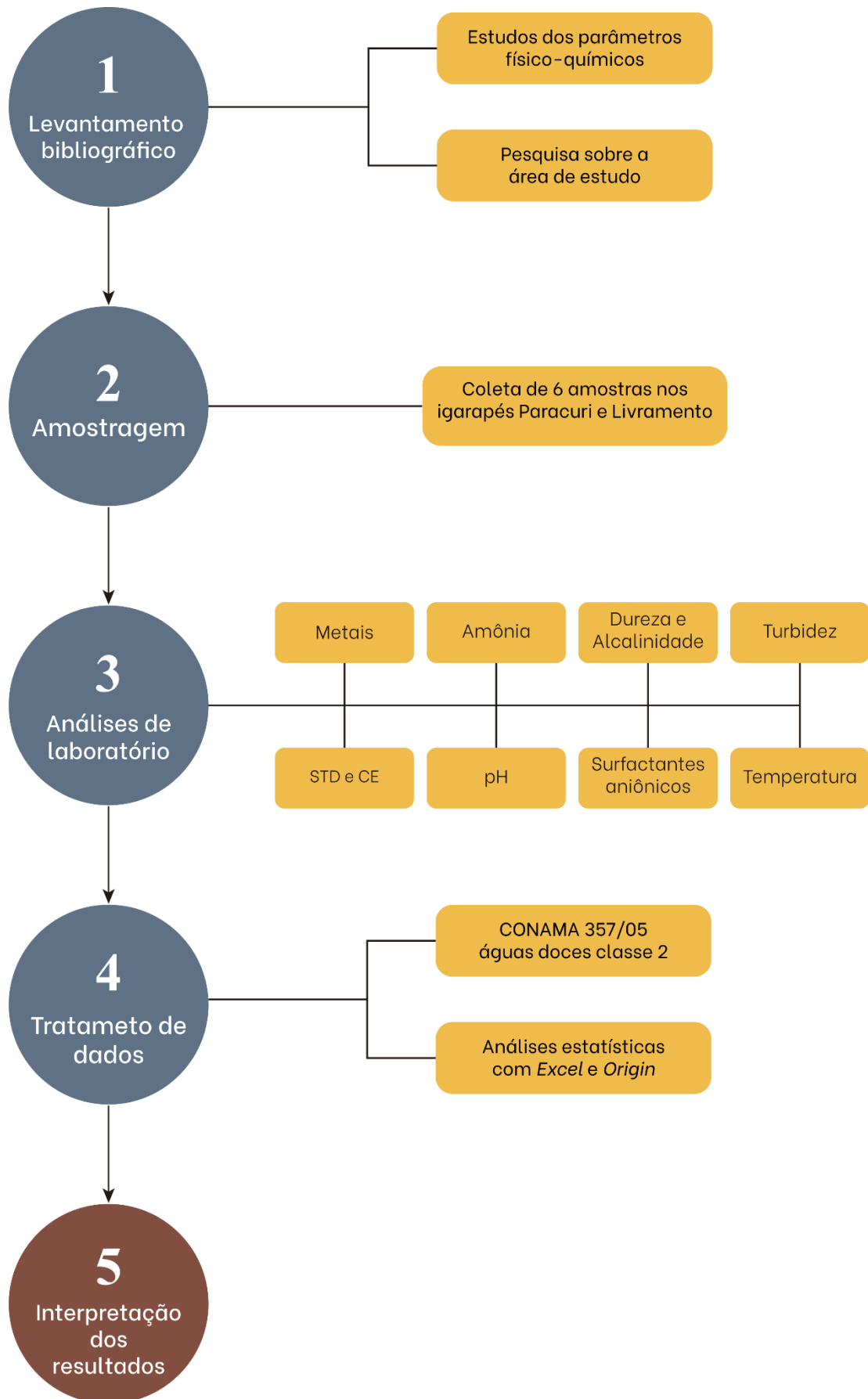


Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho.

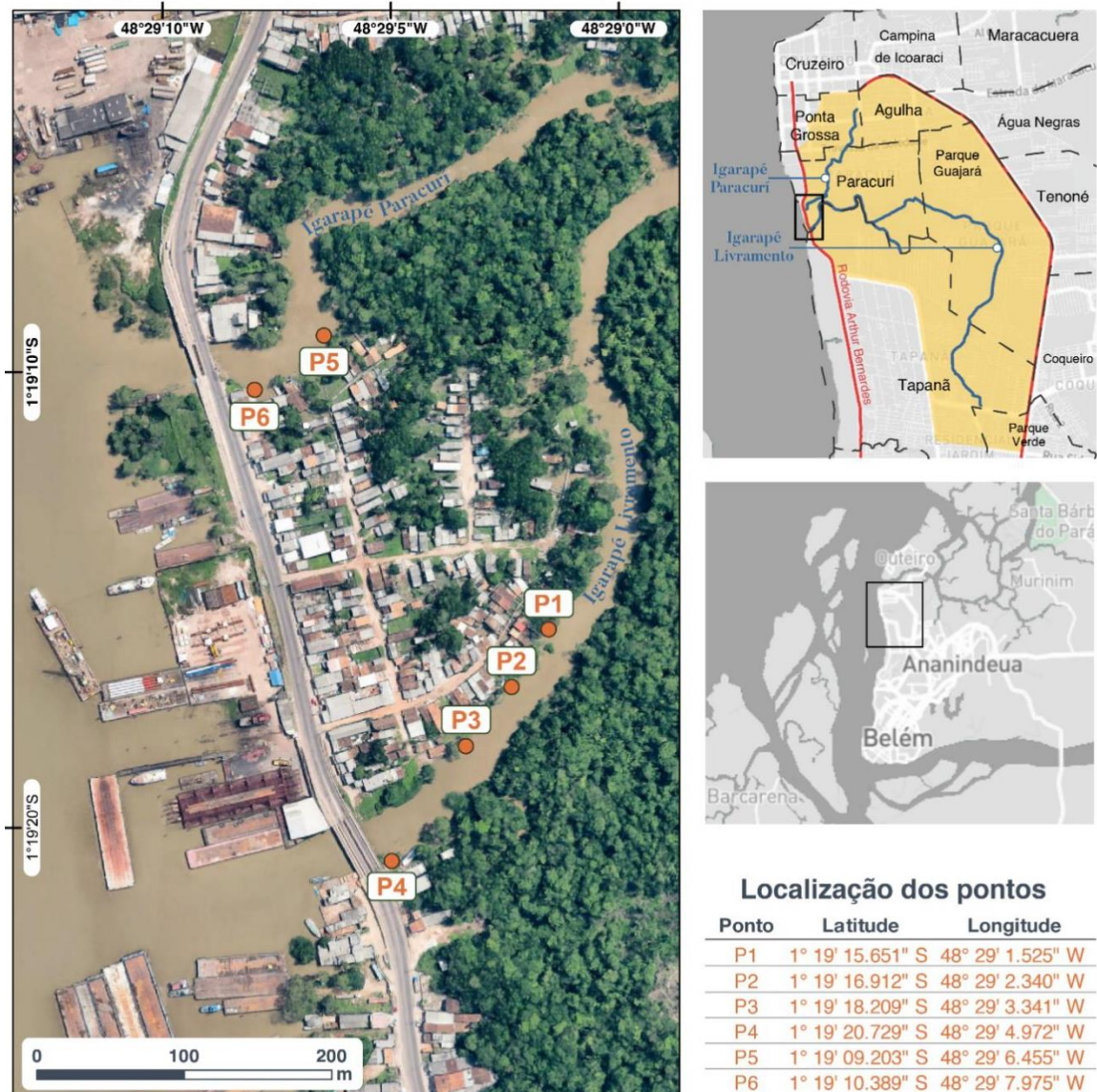


Figura 4 - Mapa de localização dos pontos amostrados nos igarapés Paracuri e Livramento, na bacia do Paracuri.

Para a amostragem das águas superficiais, foram utilizados frascos de polietileno com capacidade de 1000 mL, previamente limpos e devidamente ambientados com a água do próprio local. Em seguida, os frascos foram imersos até aproximadamente 20 cm da lâmina d'água. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas para o transporte até o laboratório. Os parâmetros avaliados neste trabalho, os métodos de análise e os equipamentos utilizados se encontram dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Metodologia e equipamentos empregados no estudo dos parâmetros físico-químicos.

	Parâmetro	Metodologia	Equipamento
<b>Métodos Clássicos</b>	Alcalinidade Total	Titulação ácido-base	-
	Dureza Total	Titulação de complexação	-
<b>Métodos Instrumentais</b>	pH	Potenciometria	pHmetro <i>Seven2Go™</i> - <i>Mettler Toledo</i>
	Temperatura		
	CE	Conduvímtria	<i>Conduvímietro Lutron</i> - <i>CD-4303</i>
	STD		
	Turbidez	Turbidimetria	<i>Turbidímietro Hach</i> - <i>2100P IS</i>
	Amônia	Método de <i>Nessler</i>	Espectrofotômetro <i>Hach DR/2010</i> , $\lambda = 425$ nm
Surfactantes Aniônicos	Método do azul de metileno com microextração líquido-líquido em tubo	Espectrofotômetro UV/Vis <i>Varian Cary® 50Probe</i> , $\lambda = 652$ nm	
	Metais	Espectrometria de emissão atômica	ICP-MS <i>iCAP-Q</i>

CE – Condutividade elétrica; STD – Sólidos totais dissolvidos.

## 4.2 ANÁLISES EM LABORATÓRIO

### 4.2.1 Determinação de parâmetros físico-químicos

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Hidroquímica do Instituto de Geociências (IG/UFPA). Os parâmetros analisados imediatamente após a chegada ao laboratório foram: pH, temperatura, turbidez, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. Em seguida, as amostras foram divididas em duas alíquotas e filtradas em papel filtro faixa azul, com auxílio de bomba de vácuo elétrica. Uma das alíquotas foi acidificada com ácido nítrico até  $\text{pH} \leq 2$  para a determinação de metais, enquanto a outra foi reservada para a análise de amônia, surfactantes aniônicos, dureza e alcalinidade total. Ambos os fracos foram mantidos refrigerados a aproximadamente 4°C, até momentos antes da análise, quando se faz necessário que as amostras atinjam a temperatura ambiente.

A alcalinidade total e a dureza total foram determinadas a partir de métodos volumétricos. Para a alcalinidade total, foi realizada titulação de neutralização ácido-base com ácido sulfúrico 0,02 N e adição de fenolftaleína e alaranjado de metila como indicadores ácido-base na amostra, com ponto de viragem do amarelo para o laranja. A dureza total foi determinada a partir da titulação de complexação com EDTA. Para isso, o pH da amostra foi elevado até aproximadamente 10, com adição da solução tampão de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) e adicionado uma pequena quantidade de negro de Eriocromo T, com viragem do vermelho vinho para o azul escuro. Para a determinação de amônia foi empregado um espectrofotômetro que utiliza *kits* de reagentes para a reação de quantificação de amônia (*Mineral Stabilizer*, Álcool polivinílico e reagente de *Nessler*). As leituras de absorvância foram realizadas em  $\lambda = 425 \text{ nm}$ .

Os surfactantes aniônicos são substâncias que reagem com o azul de metileno, cujo valor máximo permitido para águas doces classe 2 é  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ . As análises de surfactantes aniônicos foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas (IG/UFPA). O método aplicado foi baseado em Pereira & Rocha (2013), que propõem uma alternativa ambientalmente sustentável para a análise de surfactantes aniônicos em águas naturais com um menor consumo de reagentes. Para este procedimento, foi utilizada uma solução do reagente azul de metileno preparada com 0,025g de azul de metileno e 1,420g de  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  pesados em balança analítica (*Sartorius* - BP221S), e dissolvidos em um balão volumétrico juntamente com 0,34 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . O balão foi avolumado com água ultrapura até 50 mL. Como modelo de surfactante aniônico, foi preparada uma solução estoque de dodecil sulfato de sódio (SDS) com  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de concentração, e a partir dela, foram preparadas soluções padrões na faixa de 0,1 - 2,0  $\text{mg L}^{-1}$ . O procedimento de extração líquido-líquido do par iônico formado entre o surfactante aniônico e o azul de metileno foi realizado a partir da inserção de 1 mL de solução padrão ou amostra em tubos de ensaio, adicionados 500  $\mu\text{L}$  da solução de azul de metileno e 2 mL de clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ) como solução extratora. Os tubos foram agitados para favorecer a transferência do par iônico entre as fases. Em seguida, os tubos foram colocados em repouso para a separação de fases, e a fase orgânica foi posteriormente analisada no espectrofotômetro de absorção molecular UV/Vis. As leituras de absorvâncias das fases orgânicas foram realizadas em triplicata por meio do *software Simple Reads* (*Cary*®), a  $\lambda = 652 \text{ nm}$ .

A concentração de SA foi estimada a partir de uma curva de calibração obtida pelo método do padrão externo aplicando o método dos mínimos quadrados, com os dados obtidos

a partir dos extratos orgânicos resultantes da extração líquido-líquido das soluções padrão de SDS. Assim, construiu-se um gráfico de dispersão onde a ordenada é a média das absorvâncias obtidas para as soluções de referência, enquanto a abscissa é a concentração analítica em  $\text{mg L}^{-1}$  de SA. A partir da regressão linear obtida na forma  $y = ax + b$ , foi possível estabelecer uma relação entre a resposta medida em  $y$  (absorvância) e a concentração dos SA em  $x$ . O procedimento apresentou faixa de trabalho de 0,5 a 2,0  $\text{mgL}^{-1}$  com boa linearidade, observada pelo coeficiente de *Pearson* da curva analítica obtida. Os limites de detecção e quantificação (LD e LQ) foram estimados de acordo com as Equações 2 e 3, respectivamente, segundo a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), considerando as estimativas dos desvios-padrão ( $S$ ) e a sensibilidade ( $m$ ) atribuída pela equação da reta, com 99% de confiança.

$$\frac{3 S_{\text{branco}}}{m} = \text{LD} \quad [2]$$

$$\frac{10 S_{\text{branco}}}{m} = \text{LQ} \quad [3]$$

As características analíticas do método se encontram na Tabela 6.

Tabela 6 - Características analíticas para a determinação de surfactantes aniônicos.

Analito	Faixa linear ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Linearidade ( $R^2$ )	$m$	LD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	LQ ( $\text{mg L}^{-1}$ )
Surfactantes aniônicos	0,0 - 2,0	0,9956	0,2139	0,07	0,23

$m$  – Coeficiente angular da curva; LD – Limite de detecção; LQ – Limite de quantificação

#### 4.2.2 Determinação de Metais

Para a determinação de metais, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) da UFPA. Um espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado com analisador de massa do tipo quadrupolar (ICP-MS, ICAP-Q, *Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, EUA*) equipado com amostrador automático ASX 520 (*Agilent*) foi utilizado para determinar os seguintes metais: Na, Mg, K, Al, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cu, Cd, Cr, Ag, As, Se, Ba, Sb e Pb. As condições operacionais do instrumento utilizado são apresentadas na Tabela 7. Utilizou-se argônio líquido 99,999% de pureza para alimentação do plasma (*White Martins, Brasil*). As condições instrumentais foram ajustadas diariamente com uma solução padrão contendo 1  $\mu\text{g L}^{-1}$  de Ba, Bi, Ce, Co, In Li e U em 2%  $\text{HNO}_3$  e 0,5 % HCl (Solução *Tune B*), fornecida pelo fabricante. Após o ajuste instrumental,

as amostras foram analisadas e a quantificação efetuada a partir das curvas analíticas obtidas para cada elemento de interesse.

A concentração de metais em água determinadas por ICP-MS foi estimada a partir das curvas de calibração obtidas conforme dados sistematizados na Tabela 8. As curvas analíticas apresentaram boa linearidade e limites de detecção baixos que são características analíticas compatíveis com aquelas esperadas em um procedimento baseado em espectrometria de emissão ótica com plasma como fonte de ionização, o que caracteriza uma técnica de alta sensibilidade. A menor linearidade observada nas curvas analíticas para o Na e o K são devido ao baixo potencial de ionização desses elementos.

Tabela 7 - Condições de operação do instrumento de ICP-MS utilizado

Parâmetros	Condição de operação
Potência de radiofrequência (W)	1550
<b>Vazões dos Gases</b>	
Plasma (L min <sup>-1</sup> )	14
Auxiliar (L min <sup>-1</sup> )	0,8
Nebulização (L min <sup>-1</sup> )	1
Rotação da bomba peristáltica (rpm)	40
Replicatas por amostra	3
Tempo de aquisição de sinal (ms)	1

Tabela 8 - Características analíticas para a determinação de metais por ICP-MS.

Analito	Curva Analítica	Linearidade (r <sup>2</sup> )	Limite de detecção (ppb)
Na	$y = 91547,9966x + 1201201,4269$	0,7969	0,1364
Mg	$y = 69343,8433x + 185348,1452$	0,9922	0,0467
K	$y = 106726,1256x + 3672884,2488$	0,8013	1,0498
Ca	$y = 6081,2315x + 490263,6568$	0,9386	7,0013
Cr	$y = 111705,1700x + 209510,8741$	0,9935	0,0245
Fe	$y = 16970,1308x + 342623,0544$	0,9980	0,7657
Mn	$y = 187006,2571x + 186448,8102$	0,9985	0,0107
Ni	$y = 37101,5147x + 20480,0021$	0,9994	0,0109
Cu	$y = 42471,9199x + 26605,2838$	0,9996	0,0166
Zn	$y = 25595,6248x + 60384,6066$	0,9949	0,0495
As	$y = 19860,3954x + 9206,9779$	0,9997	0,0467
Cd	$y = 32177,2920x + 4002,0511$	0,9998	0,0073
Ba	$y = 220198,9554x + 202981,9658$	0,9984	0,0033
Pb	$y = 170788,2561x + 233348,7669$	0,9955	0,0024

#### 4.3 TRATAMENTO DE DADOS

Todas as medidas foram realizadas em triplicatas (n=3) e os dados foram tabulados em média aritmética e desvio padrão. Os resultados foram analisados conforme a legislação brasileira CONAMA 357/2005, para águas doces de classe 2. Os valores limites estabelecidos pelo CONAMA para os parâmetros físico-químicos analisados neste trabalho são apresentados na Tabela 9:

Tabela 9 - Relação dos parâmetros físico-químicos e seus respectivos valores limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05.

Parâmetros	CONAMA 357/05
pH	6,0 - 9,0
T (°C)	≤ 40
Turbidez (NTU)	≤ 100
STD (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 500
Amônia (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 3,7
SA (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,5
Al (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,1
As (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,01
Ba (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,7
Cr (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,05
Cu (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,009
Fe (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,3
Mn (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,1
Ni (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,025
Pb (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,01
Zn (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,18

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foram utilizados 27 parâmetros para as determinações físico-químicas, incluindo os metais totais, em seis pontos de coleta em quatro campanhas de amostragem, totalizando 24 amostras de água dos igarapés Paracuri e Livramento. As coletas foram realizadas preferencialmente durante a baixamar, para minimizar a influência das águas da baía de Guajará nesse estudo. Conforme mencionado, as coletas foram padronizadas de acordo com o clima da região, com duas campanhas de amostragem no período menos chuvoso e duas no período chuvoso. Ainda assim, as condições atmosféricas no dia de cada coleta (Tabela 10) foram consideradas, pois também são importantes para uma melhor interpretação dos resultados, uma vez que influenciam diretamente nas características físicas das águas.

Tabela 10 - Condições atmosféricas na hora de cada coleta, ao longo das quatro campanhas de amostragem.

Coleta	Dia	Período sazonal	Condições atmosféricas durante a coleta
1ª coleta	12 de novembro de 2018	Período menos chuvoso	Coleta realizada pela manhã, com céu aberto e temperatura do ar em aproximadamente 33 °C
2ª coleta	01 de abril de 2019	Período chuvoso	Coleta realizada pela tarde, com céu nublado e temperatura do ar em aproximadamente 28 °C
3ª coleta	02 de maio de 2019		Coleta realizada pela tarde, após forte chuva, com temperatura do ar em aproximadamente 26 °C
4ª coleta	10 de setembro de 2019	Período menos chuvoso	Coleta realizada pela tarde, com céu parcialmente nublado e temperatura do ar em aproximadamente 30° C



Figura 5 – Aspectos de alguns pontos de coleta. a) Resíduos sólidos às margens do igarapé no ponto P6; b) Ponto P4, próximo a ponte da rodovia Arthur Bernardes; c) Vegetação às margens do igarapé no ponto P2.

### 5.1 TEMPERATURA

A temperatura variou entre 29,2 e 29,9 °C na coleta do mês de novembro, referente ao período menos chuvoso. Também nesse período, na coleta de setembro, os valores não variaram significativamente, ocorrendo no intervalo de 27,9 a 29,4 °C. As temperaturas reduziram no período chuvoso, atingindo valores entre 25,7 a 26,0 °C em abril e 25,4 a 26,0 °C em maio. Nota-se que a diferença entre os valores é mais evidente em função da sazonalidade, no qual visualiza-se um padrão onde a elevação térmica das águas ocorre com a diminuição das chuvas, com acréscimo médio de 3,9 °C entre o período chuvoso e o período menos chuvoso. Logo, a oscilação da temperatura das águas superficiais é fortemente influenciada pelo clima da região.

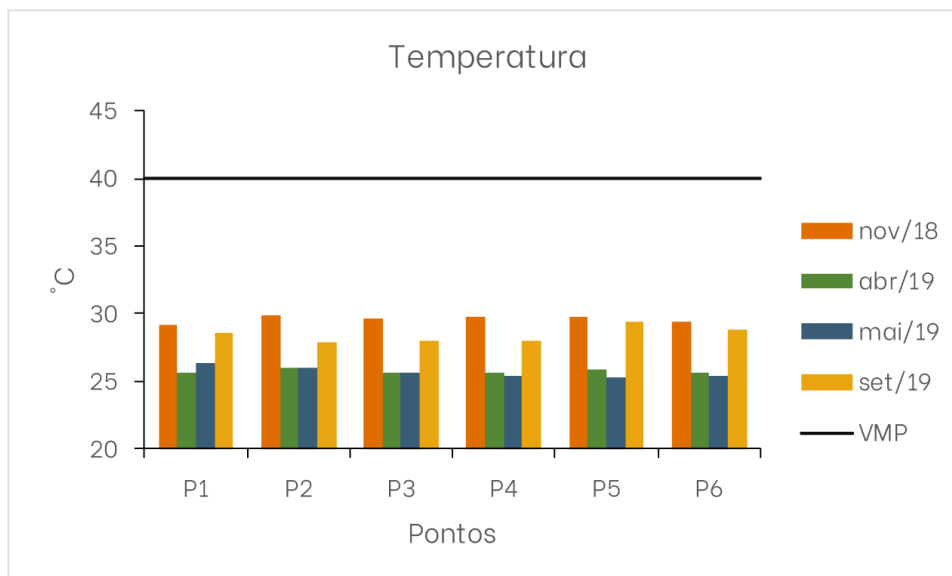


Figura 6 - Distribuição dos valores de temperatura ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e no período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05.

As maiores taxas de precipitação pluviométrica no período desse estudo (novembro de 2018 a setembro de 2019) foram registradas entre os meses de dezembro e maio. Durante esses meses, há maior índice de nebulosidade, que é um dos fatores responsáveis pela variação da insolação incidente. Quanto maior a nebulosidade, menor a incidência dos raios solares na superfície terrestre (Figura 7), o que colabora para a variação da temperatura das águas.

A temperatura das águas em todos os pontos de amostragem se encontrou dentro do padrão estabelecido pela legislação (<40 °C). Além disso, a baixa variação térmica observada é um aspecto positivo para os organismos que habitam nesse corpo hídrico, pois podem ter baixa tolerância a grandes mudanças de temperatura (Mohseni *et al.* 2003).

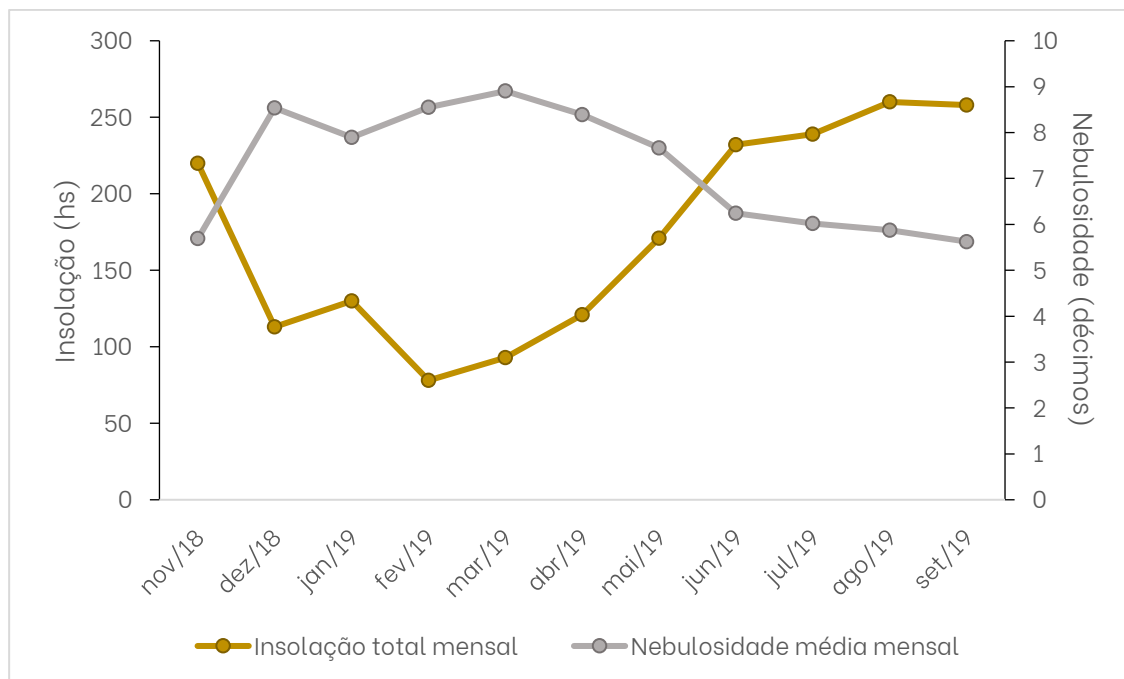


Figura 7 - Insolação total mensal e nebulosidade média mensal entre novembro de 2018 e setembro de 2019 na cidade de Belém. Fonte: INMET (2019).

## 5.2 pH

A Figura 8 mostra que em todas as análises, o pH das águas se manteve acima de 6, concordando com o padrão de proteção a vida aquática estabelecida pela CONAMA 357/05. Foram registradas variações de pH em torno de  $6,41 \pm 0,01$  a  $6,90 \pm 0,14$ , caracterizando as águas como ligeiramente ácidas. A baixa variação nos resultados de pH reflete a capacidade de tamponamento por parte desse sistema hídrico (Lopes *et al.* 2017).

Os valores mais baixos de pH foram obtidos na coleta de maio, realizada imediatamente após uma chuva, onde se obteve valores entre  $6,41 \pm 0,01$  a  $6,58 \pm 0,11$ . A chuva, por possuir teores de ácidos orgânicos, pode ter influenciado a diminuição do pH durante essa coleta. Em contrapartida, os valores mais altos de pH também foram registrados no período chuvoso, durante o mês de abril, com valor médio mínimo de  $6,72 \pm 0,11$  e máximo de  $6,90 \pm 0,14$ . As alterações de pH podem estar influenciadas por diversos fatores, por isso é um dos parâmetros de mais difícil interpretação (Esteves 1998). Portanto, aspectos climatológicos no dia da coleta, o horário, a movimentação das marés e a descarga diária de efluentes domésticos nesse corpo hídrico, pode influenciar na oscilação do pH.

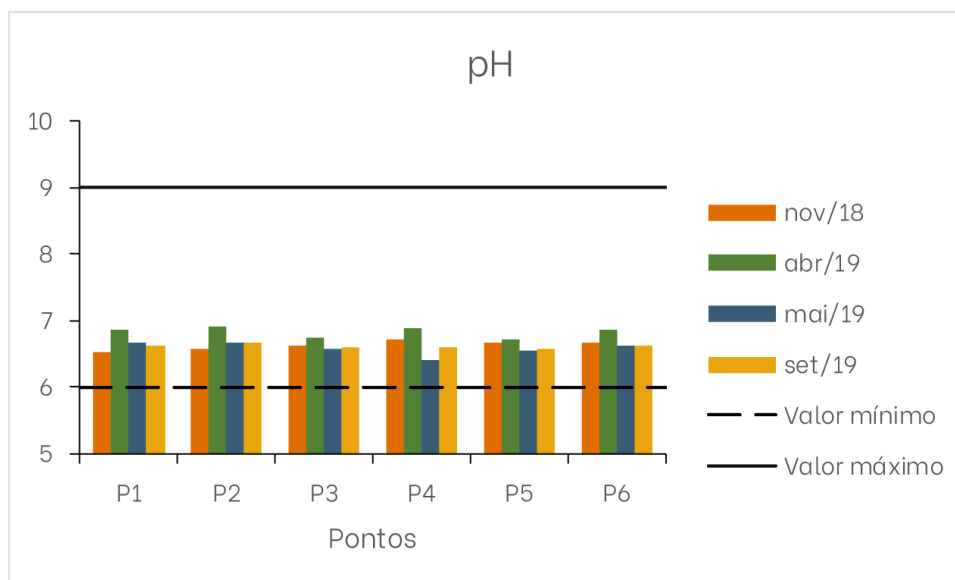


Figura 8 - Distribuição dos valores de pH ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e no período menos chuvoso (nov/18 e set/19), e os valores mínimo e máximo permitidos pela legislação CONAMA 357/05.

### 5.3 TURBIDEZ

Nas coletas realizadas, os valores de turbidez variaram entre  $57,4 \pm 1,3$  a  $71,8 \pm 2,9$  em novembro,  $76,9 \pm 0,1$  a  $88,0 \pm 0,1$  em abril,  $280,7 \pm 4,2$  a  $382,7 \pm 17,6$  NTU em maio e  $32,7 \pm 0,6$  e  $43,3 \pm 0,6$  NTU em setembro, conforme apresentado na Figura 9. Assim, é possível observar que as médias encontradas foram maiores para o período chuvoso, como esperado, pois as chuvas transportam material sólido das margens dos rios e remobilizam os sedimentos de fundo, aumentando a quantidade de material em suspensão. Esse fato é melhor observado na coleta referente ao mês de maio, realizada imediatamente após forte chuva, no qual os valores de turbidez medidos excederam o valor máximo permitido pela legislação brasileira, que é de 100 NTU.

De modo geral, as amostras coletadas do igarapé Paracuri (P5 e P6), apresentaram valores médios de turbidez ligeiramente maiores para as coletas de novembro, abril e maio, em comparação aos pontos amostrados no igarapé Livramento. Esse resultado possivelmente ocorreu porque à montante há predominância de áreas urbanizadas e assentamentos precários e redução da mata ciliar pela canalização do leito do igarapé.

O igarapé Livramento, por sua vez, ainda apresenta mata ciliar preservada, diminuindo o carreamento de sedimentos das margens desse corpo hídrico, por isso, as amostras coletadas nesse córrego registraram menores médias de turbidez. O ponto P4, localizado próximo a uma serraria em frente à ponte da rodovia Arthur Bernardes, foi o ponto com maior

média de turbidez dentre os pontos coletados no igarapé Livramento, por ser próximo a uma estrada de intensa movimentação e pela quantidade de resíduos sólidos advindos da serraria.

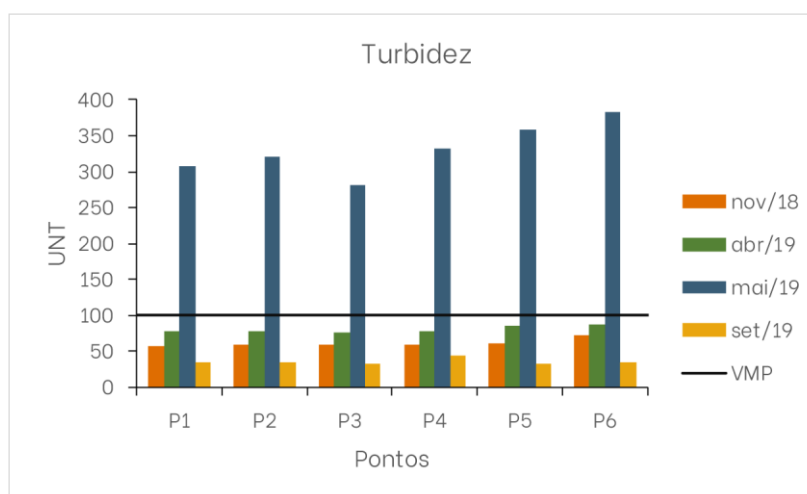


Figura 9 - Distribuição dos valores de turbidez ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e no período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05.

#### 5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

Sólidos totais dissolvidos e a condutividade elétrica, como mencionado anteriormente, são parâmetros proporcionais entre si. A partir dos gráficos da Figura 10, observou-se que valores dos STD e da CE são maiores no período menos chuvoso, principalmente na coleta do mês de novembro, e menores para o período chuvoso, com menores concentrações observadas para o mês de maio.

Na primeira coleta, os resultados da CE e dos STD variaram, respectivamente, entre  $422,2 \pm 0,8 \mu\text{S cm}^{-1}$  e  $282,9 \pm 0,6 \text{ mg L}^{-1}$  no ponto P4, localizado no igarapé Livramento, e  $447,1 \pm 0,7 \mu\text{S cm}^{-1}$  e  $299,6 \pm 0,5 \text{ mg L}^{-1}$  no ponto P5, no igarapé Paracuri. Valores elevados desses parâmetros para o ponto P5 foi recorrente nas campanhas de amostragem. No ponto P6, houve uma pequena redução no valor médio em comparação ao outro ponto amostrado no mesmo córrego, com  $443,2 \pm 1,0 \mu\text{S cm}^{-1}$  para CE e  $296,9 \pm 0,7 \text{ mg L}^{-1}$  para os STD. Os resultados obtidos na primeira coleta foram mais elevados em comparação as análises seguintes, possivelmente em função da maré.

Na coleta do mês de abril, os valores de ambos os parâmetros decresceram, abrangendo intervalo de  $121,2 \pm 1,8$  a  $131,6 \pm 0,9 \mu\text{S cm}^{-1}$  para a CE e  $81,2 \pm 1,2$  a  $88,1 \pm 0,6 \text{ mg L}^{-1}$  para os STD. Em maio, foram registrados os menores valores dentre as quatro campanhas de amostragem, com variação de  $64,6 \pm 0,4 \mu\text{S cm}^{-1}$  a  $72,9 \pm 0,4 \mu\text{S cm}^{-1}$  para a

condutividade elétrica e  $43,3 \pm 0,3 \text{ mg L}^{-1}$  a  $48,8 \pm 0,2 \text{ mg L}^{-1}$  para os sólidos totais dissolvidos. Atribui-se essa redução de valores a chuva pré-coleta, que pode ter atuado como diluente. Em setembro, a concentração desses parâmetros voltou a crescer, com resultados para CE e STD, respectivamente, entre  $129,7 \pm 0,9 \mu\text{S cm}^{-1}$  e  $86,9 \pm 0,6 \text{ mg L}^{-1}$  no ponto P3, a  $149,3 \pm 0,7 \mu\text{S cm}^{-1}$  a  $100,0 \pm 0,5 \text{ mg L}^{-1}$  no ponto P5.

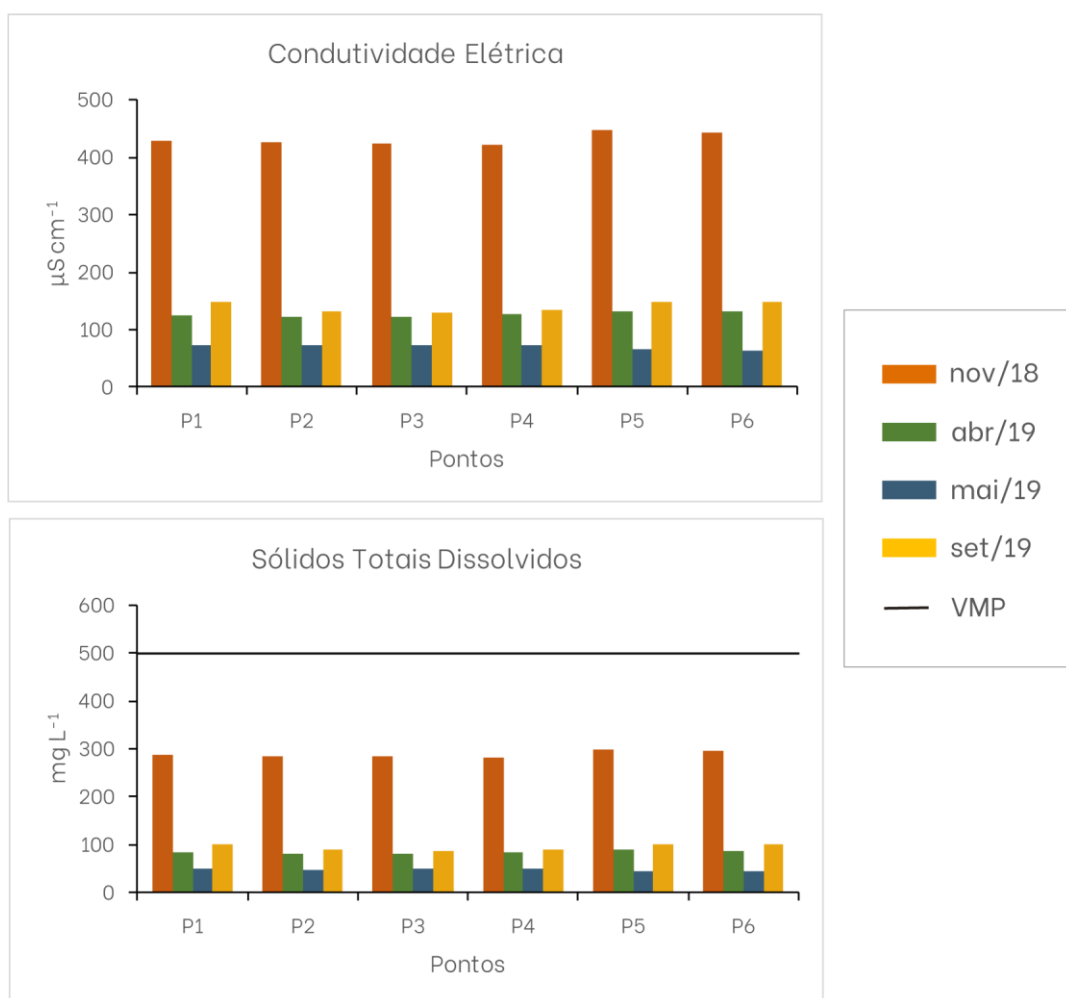


Figura 10 - Distribuição dos valores de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e o período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05.

A resolução 357/05 do CONAMA recomenda concentrações de STD até  $500 \text{ mg L}^{-1}$ , assim, todos os pontos amostrados em todas as campanhas de amostragem se encontram dentro dos limites da legislação. Por outro lado, não faz referência a limites para a condutividade elétrica. Nesse sentido, não é possível utilizar a condutividade elétrica como parâmetro isolado para estimativa de contaminação de águas.

Em estudo ao longo da orla de Belém, Alencar *et al.* (2019) verificaram valores mais elevados de STD e CE, nos portos de Miramar e Outeiro, na parte norte da RMB. Foram

encontrados valores médios de 273,69 mg L<sup>-1</sup> e 494,07 µS cm<sup>-1</sup> no porto de Outeiro e 114,58 mg L<sup>-1</sup> e 206,71 µS cm<sup>-1</sup> no porto de Miramar. Os autores atribuem esses resultados a proximidade da localização dos pontos com foz da baía do Guajará, o que aumenta a salinidade das águas em função da entrada de águas oceânicas. A foz dos igarapés Paracuri e Livramento se encontra entre os portos mencionados e, portanto, os resultados obtidos neste trabalho podem ter influências das marés da baía de Guajará.

## 5.5 ALCALINIDADE TOTAL E DUREZA TOTAL

A alcalinidade e dureza são propriedades químicas da água que não possuem limite estabelecido pela legislação brasileira, pois não conferem significado sanitário as águas. Na primeira campanha, a alcalinidade total e a dureza total variaram entre 7,81 ± 0,74 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> a 9,38 ± 0,74 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> e 40,88 ± 0,67 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> a 47,53 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>, respectivamente.

Na segunda coleta, verifica-se que o teor de alcalinidade aumentou significativamente para valores entre 48,33 ± 0,74 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> a 52,24 ± 0,37 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>. O teor de dureza total não variou significativamente em comparação a coleta anterior, variando entre 38,50 ± 0,67 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> a 43,25 ± 2,02 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>. Na terceira coleta, houve uma redução nos teores de alcalinidade e dureza, com variação entre 18,49 ± 0,74 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> a 25,26 ± 1,47 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>, e 23,05 ± 0,67 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> a 26,14 ± 0,67 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>.

Na última coleta, referente ao mês de setembro, houve redução no teor de alcalinidade, com valores entre 7,29 ± 0,37 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> a 9,90 ± 0,37 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>, e aumento no teor de dureza total, entre 42,30 ± 0,67 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> a 48,24 ± 0,34 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>.

Esses dados mostraram que no período chuvoso, a água apresentou maior capacidade de neutralização de ácidos, visto pelos teores mais elevados de alcalinidade nesse período. Como mencionado na seção 5.2, as águas analisadas apresentaram caráter ligeiramente ácido, com pH na faixa de 6-7. Dessa forma, é possível inferir que a alcalinidade total ocorra em função da presença de bicarbonatos, por ser o principal íon presente nessa faixa de pH. Quanto a classificação da água em termos de grau de dureza total, as concentrações sempre abaixo de 50 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> permitem classificá-la como “água mole”.

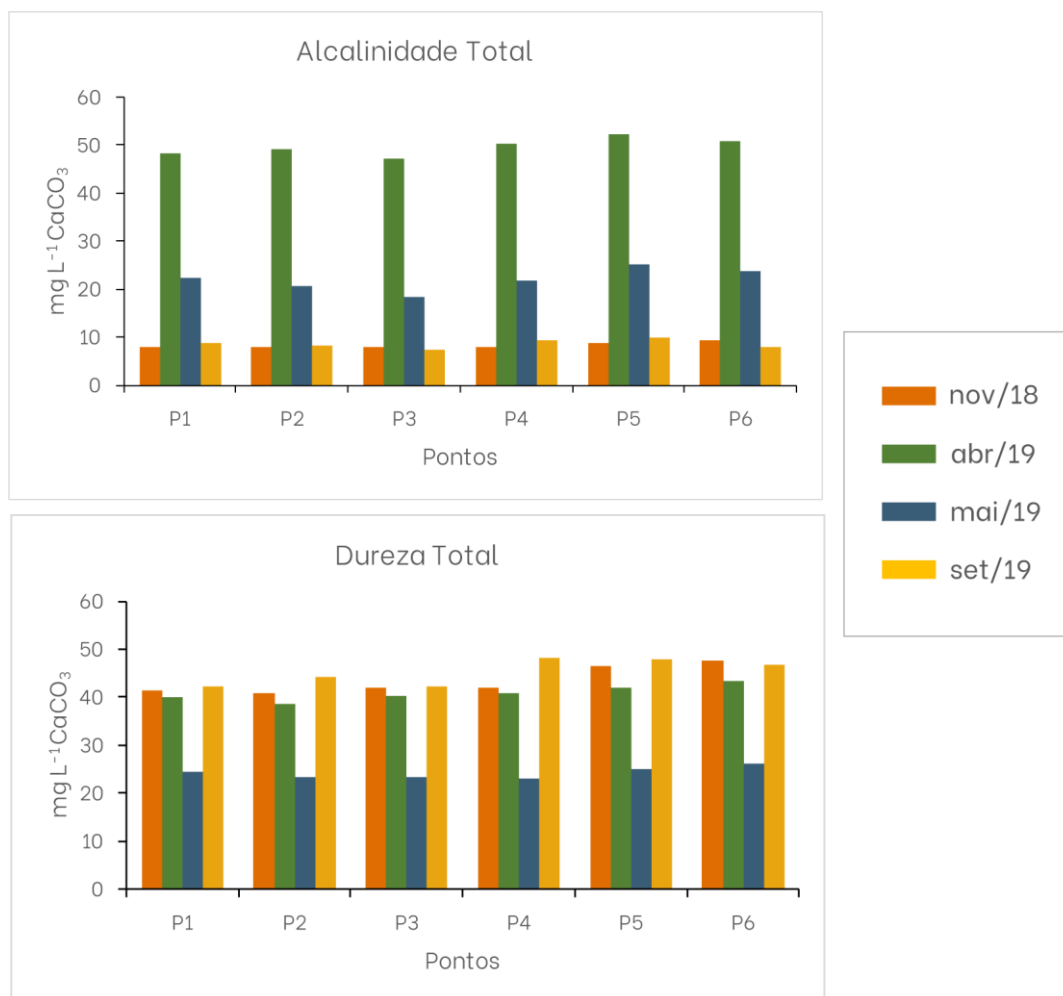


Figura 11 - Distribuição dos valores de alcalinidade total e dureza total ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e do período menos chuvoso (nov/18 e set/19).

## 5.6 AMÔNIA

A amônia foi determinada na sua forma não ionizada (NH<sub>3</sub>), por representar a espécie mais tóxica de amônia. Além disso, sua presença pode indicar poluição recente do corpo hídrico (Ribeiro *et al.* 2016).

Os resultados da primeira coleta mostram uma variação na concentração de amônia entre  $1,47 \pm 0,08$  mg L<sup>-1</sup> no ponto P2 a  $2,28 \pm 0,04$  mg L<sup>-1</sup> no ponto P5. No mês de abril, a concentração de NH<sub>3</sub> cresce, com média mínima de  $2,71 \pm 0,01$  mg L<sup>-1</sup> e máxima de  $2,96 \pm 0,03$  mg L<sup>-1</sup>. Na coleta seguinte, os resultados reduziram para o intervalo de  $0,71 \pm 0,01$  mg L<sup>-1</sup> a  $1,06 \pm 0,02$  mg L<sup>-1</sup>. Em setembro, houve um acréscimo na concentração para todos os pontos, com resultados abrangendo o intervalo de  $2,21 \pm 0,01$  mg L<sup>-1</sup> a  $3,11 \pm 0,01$  mg L<sup>-1</sup>.

A Figura 12 possibilita uma melhor visualização do comportamento da concentração de amônia nos pontos estudados. Assim, observa-se que os pontos P5 e P6 apresentaram as

maiores concentrações de amônia em todas as campanhas de amostragem, e que os menores valores foram registrados na coleta do mês de maio, após a chuva. Todos os resultados se mostraram de acordo com os limites da legislação.

Gutierrez *et al.* (2016), em estudo no rio Guamá, registram valores de amônia entre 0,35 a 0,85 mg L<sup>-1</sup>. Nas águas da ilha de Mosqueiro, Miranda *et al.* (2015) encontraram valor máximo de 0,39 mg L<sup>-1</sup> NH<sub>3</sub>. As concentrações mais elevadas de NH<sub>3</sub> encontradas no estudo aqui realizado, sugerem que a os igarapés Paracuri e Livramento são alvo de lançamento de efluentes domésticos.

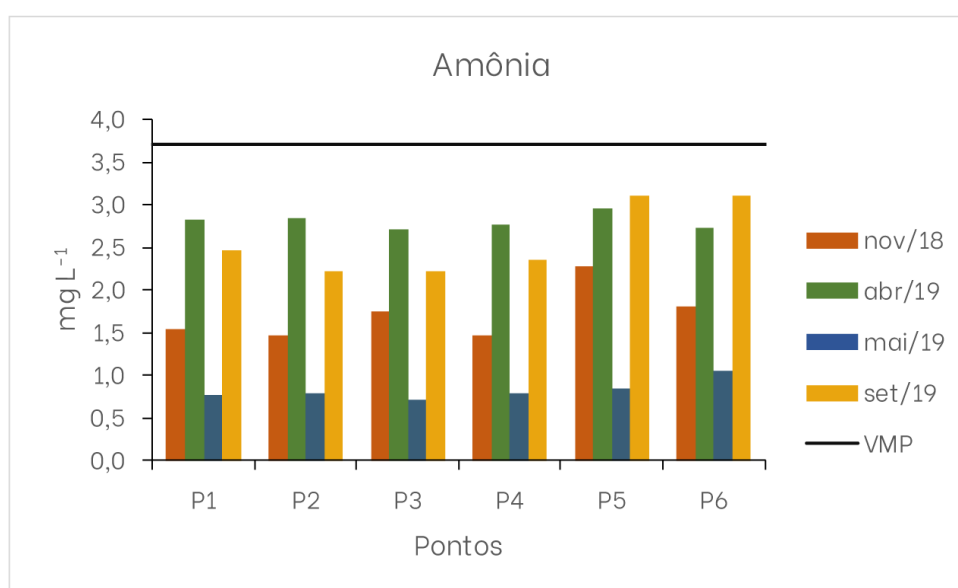


Figura 12 - Distribuição dos valores de amônia ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e do período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05.

## 5.7 SURFACTANTES ANIÔNICOS (SA)

Na primeira e segunda campanha de amostragem, todos os pontos amostrados excederam o limite estabelecido pela legislação brasileira. Na coleta de novembro foram registradas as maiores concentrações para esse parâmetro, com concentrações de até 18,49 mg L<sup>-1</sup> de SA, sendo esta 36 vezes acima do limite permitido. Em abril, houve um decréscimo na concentração de SA, com valor máximo de até 5,59 ± 0,01 mg L<sup>-1</sup>, ainda acima da legislação.

É importante frisar que as maiores concentrações para as duas primeiras coletas foram encontradas nos pontos P5 e P6, no igarapé Paracuri. Como mencionado anteriormente, o igarapé Paracuri apresenta maior taxa de urbanização as suas margens, então possivelmente as elevadas concentrações obtidas nesse córrego ocorrem em função do despejo indiscriminado

de efluentes domésticos. Os pontos P3 e P4 possuem as concentrações mais altas de SA para o Igarapé Livramento, por serem mais próximos a comércios, indústrias e à rodovia Arthur Bernardes.

Na coleta do mês de maio, as médias de concentração diminuem drasticamente, com valores máximos de  $0,31 \text{ mg L}^{-1}$ . Essa diminuição pode ser entendida como em função da forte chuva no dia da coleta, que pode ter proporcionado a diluição da quantidade dos surfactantes lançados nos córregos. As análises da coleta de setembro mostraram que a concentração de SA permaneceu estável, com valores máximos de  $0,30 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$  registrados no ponto P6. Portanto, pode-se inferir que, apesar do lançamento desse tipo de poluentes na bacia, ela ainda possui capacidade de escoamento e de recuperação das águas, pela ação das chuvas e da maré.

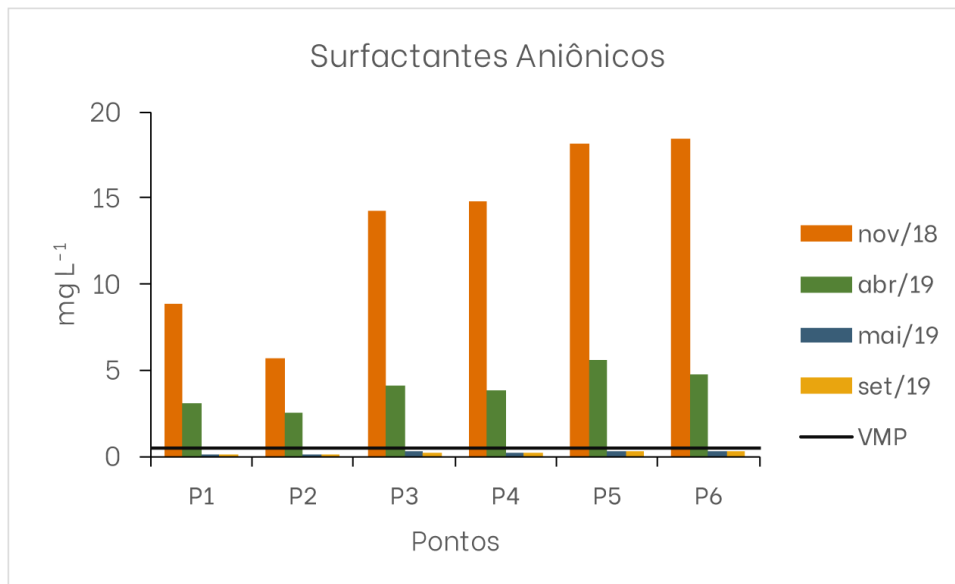


Figura 13 - Distribuição dos valores de surfactantes aniônicos ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso (abr/19 e mai/19) e do período menos chuvoso (nov/18 e set/19). VMP: valor máximo permitido pela CONAMA 357/05.

Altas concentrações de SA podem contribuir significativamente para a remoção de metais dos sedimentos, uma vez que esses compostos ao atingirem determinada concentração, denominada Concentração Micelar Crítica (CMC), se organizam em agregados moleculares chamados de micelas, responsáveis pela solubilização de diversas espécies no meio, incluindo metais (Souza *et al.* 2010). A CMC do SDS é  $8,2 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  enquanto que a menor concentração molar encontrada neste estudo foi  $2,4 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$  em maio de 2019, e a maior  $6,4 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  na coleta de novembro de 2018. Deste modo, as concentrações obtidas não ultrapassam a CMC e, portanto, as moléculas de surfactante se encontram na forma livre.

Os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos nas quatro campanhas foram resumidos na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados, tabulados em média e desvio padrão (DP), com análises feitas em triplicatas (n = 3).

Coleta		Temperatura (°C)		pH		Turbidez (UNT)		Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )		Sólidos totais dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ )		Alcalinidade total ( $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$ )		Dureza total ( $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$ )		Surfactantes Amônia ( $\text{mg L}^{-1}$ ) aniônicos ( $\text{mg L}^{-1}$ )			
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Período menos chuvoso (nov/2018)	P1	29,20	0,28	6,53	0,04	57,4	1,3	427,3	0,8	286,3	0,6	7,81	0,74	41,35	0,67	1,54	0,03	8,90	0,00
	P2	29,90	0,57	6,58	0,03	59,3	0,6	425,1	0,7	284,8	0,5	7,81	1,47	40,88	0,67	1,47	0,08	5,73	0,00
	P3	29,60	0,42	6,62	0,11	59,6	0,3	423,1	0,4	283,5	0,3	7,81	0,74	41,83	1,34	1,75	0,05	14,29	0,00
	P4	29,80	0,99	6,71	0,16	59,5	0,6	422,2	0,8	282,9	0,6	7,81	0,74	41,83	1,34	1,47	0,11	14,82	0,00
	P5	29,80	0,85	6,67	0,24	60,0	0,3	447,1	0,7	299,6	0,5	8,85	0,74	46,58	1,34	2,28	0,04	18,18	0,00
	P6	29,40	0,57	6,68	0,13	71,8	2,9	443,2	1,0	296,9	0,7	9,38	0,74	47,53	0,67	1,81	0,07	18,49	0,00
Período chuvoso (abril/2019)	P1	25,70	0,28	6,86	0,08	78,3	0,4	124,6	1,3	83,4	0,9	48,33	0,74	39,93	1,34	2,82	0,01	3,11	0,01
	P2	26,00	0,28	6,90	0,14	77,9	0,5	121,2	1,8	81,2	1,2	49,11	0,37	38,50	0,67	2,84	0,02	2,54	0,01
	P3	25,60	0,14	6,74	0,23	76,9	0,3	122,2	0,1	81,9	0,1	47,29	0,74	40,16	0,34	2,71	0,01	4,14	0,01
	P4	25,70	0,14	6,89	0,27	78,6	0,1	126,9	1,1	85,0	0,8	50,16	0,37	40,88	2,69	2,77	0,01	3,83	0,01
	P5	25,90	0,14	6,72	0,11	84,8	0,5	131,6	0,9	88,1	0,6	52,24	0,37	42,06	0,34	2,96	0,03	5,59	0,01
	P6	25,70	0,42	6,86	0,06	88,0	0,1	130,9	0,4	87,7	0,3	50,94	1,47	43,25	2,02	2,73	0,03	4,73	0,01
Período chuvoso (maio/2019)	P1	26,40	0,28	6,68	0,03	308,3	10,0	72,4	0,3	48,5	0,2	22,40	0,37	24,48	0,34	0,77	0,01	0,14	0,00
	P2	26,05	0,21	6,68	0,11	320,3	21,1	72,3	1,4	48,4	0,9	20,57	0,74	23,29	0,67	0,79	0,01	0,07	0,00
	P3	25,60	0,28	6,58	0,04	280,7	4,2	72,4	0,4	48,5	0,3	18,49	0,74	23,29	0,67	0,71	0,01	0,30	0,00
	P4	25,40	0,28	6,41	0,01	332,0	27,7	72,9	0,4	48,8	0,2	21,61	1,47	23,05	1,01	0,80	0,02	0,20	0,00
	P5	25,35	0,21	6,55	0,07	357,7	9,0	66,3	0,4	44,4	0,2	25,26	1,47	24,95	0,34	0,84	0,02	0,25	0,00
	P6	25,40	0,28	6,63	0,04	382,7	17,6	64,6	0,4	43,3	0,3	23,70	0,74	26,14	0,67	1,06	0,02	0,31	0,00
Período menos chuvoso (set/2019)	P1	28,60	0,14	6,62	0,06	33,7	0,6	148,4	0,4	99,5	0,3	8,85	0,37	42,30	0,67	2,46	0,01	0,09	0,01
	P2	27,90	0,15	6,67	0,04	35,3	0,6	132,0	2,5	88,4	1,7	8,33	1,10	44,20	0,67	2,21	0,01	0,14	0,02
	P3	28,05	0,21	6,60	0,01	32,7	0,6	129,7	0,9	86,9	0,6	7,29	0,37	42,30	0,67	2,21	0,01	0,19	0,02
	P4	27,95	0,35	6,60	0,02	43,3	0,6	134,8	2,0	90,3	1,3	9,38	0,37	48,24	0,34	2,36	0,01	0,17	0,00
	P5	29,40	0,28	6,57	0,06	32,7	1,2	149,3	0,7	100,0	0,5	9,90	0,37	47,77	0,34	3,11	0,01	0,25	0,01
	P6	28,85	0,35	6,61	0,04	34,3	3,3	149,1	0,7	99,9	0,5	7,81	0,37	46,82	1,68	3,10	0,01	0,30	0,02
CONAMA 357/05		< 40		6,0 - 9,0		100		-		500		-		-		< 3,7		< 0,5	

## 5.8 METAIS

A concentração de metais em água determinadas por ICP-MS foi estimada a partir das curvas de calibração obtidas conforme dados sistematizados na Tabela 12. As curvas analíticas apresentaram boa linearidade e limites de detecção baixos que são características analíticas compatíveis com aquelas esperadas em um procedimento baseado em espectrometria de emissão ótica com plasma como fonte de ionização, o que caracteriza uma técnica de alta sensibilidade. A menor linearidade observada nas curvas analíticas para o Na e o K são devido ao baixo potencial de ionização desses elementos.

Tabela 12 - Características analíticas para a determinação de metais por ICP-MS.

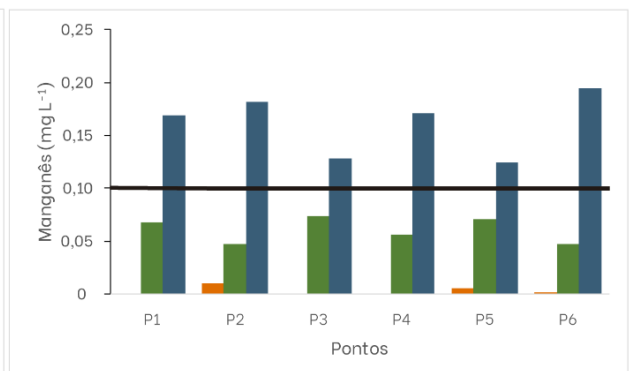
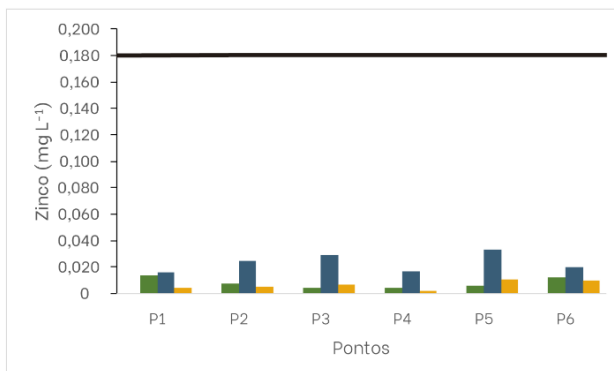
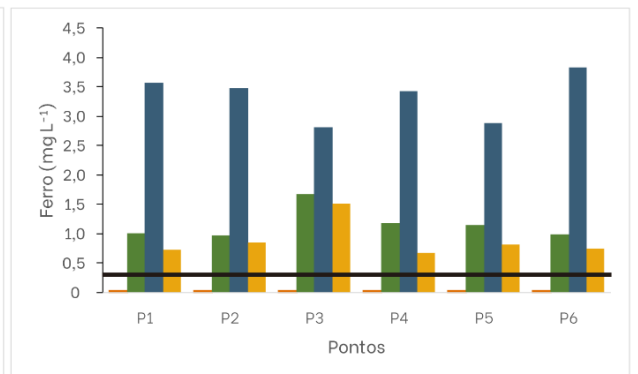
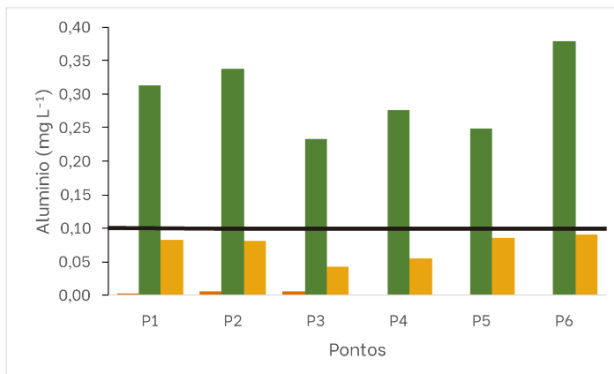
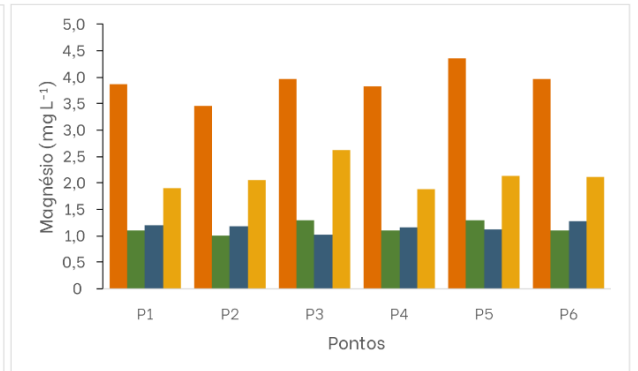
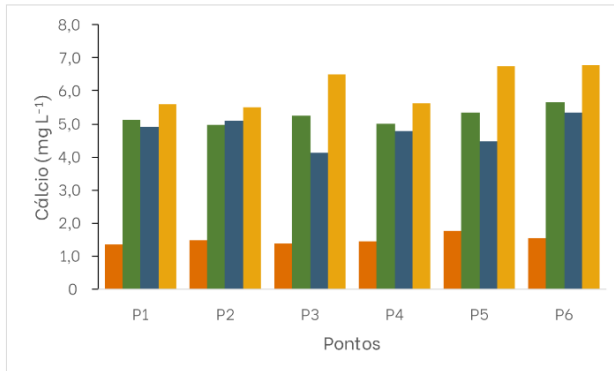
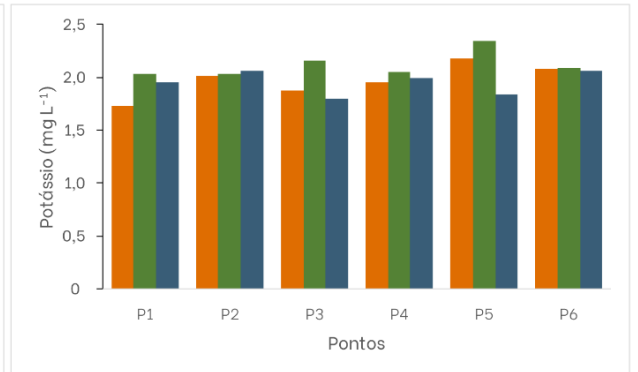
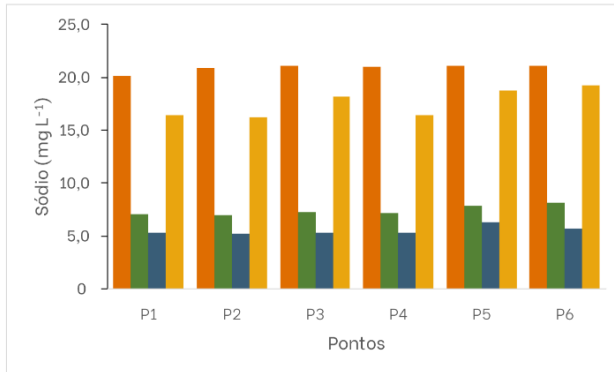
Analito	Curva Analítica	Linearidade (r <sup>2</sup> )	Limite de detecção (ppb)
Na	$y = 91547,9966x + 1201201,4269$	0,7969	0,1364
Mg	$y = 69343,8433x + 185348,1452$	0,9922	0,0467
K	$y = 106726,1256x + 3672884,2488$	0,8013	1,0498
Ca	$y = 6081,2315x + 490263,6568$	0,9386	7,0013
Cr	$y = 111705,1700x + 209510,8741$	0,9935	0,0245
Fe	$y = 16970,1308x + 342623,0544$	0,9980	0,7657
Mn	$y = 187006,2571x + 186448,8102$	0,9985	0,0107
Ni	$y = 37101,5147x + 20480,0021$	0,9994	0,0109
Cu	$y = 42471,9199x + 26605,2838$	0,9996	0,0166
Zn	$y = 25595,6248x + 60384,6066$	0,9949	0,0495
As	$y = 19860,3954x + 9206,9779$	0,9997	0,0467
Cd	$y = 32177,2920x + 4002,0511$	0,9998	0,0073
Ba	$y = 220198,9554x + 202981,9658$	0,9984	0,0033
Pb	$y = 170788,2561x + 233348,7669$	0,9955	0,0024

Foram analisados 18 elementos: Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, Zn, Mn, Ni, Co, Cu, Cd, Cr, Ag, Se, Ba, Sb e Pb. Os metais Na, K, Mg e Ca não apresentam limites estabelecidos pela legislação, ocorrem naturalmente nas águas e são provenientes principalmente da lixiviação do solo e do intemperismo e erosão de rochas. Os metais Fe, Al, Zn, Mn, Ni, Co, Cu, Cd, Cr, Ag, Se, Ba, Sb e Pb podem ser tóxicos em altas concentrações e por isso apresentam limites preconizados pelo CONAMA 357/05. Entre esses, as concentrações dos elementos Co, Cd, Cr, Ag, Se e Sb estiveram abaixo do limite de detecção do ICP-MS em todas as campanhas de amostragem, por isso, não estão registrados nas figuras e tabelas neste estudo.

A Figura 14 mostra graficamente os teores de metais encontrados nas águas da bacia do Paracuri durante os períodos de estudo, para uma melhor compreensão da distribuição dos elementos ao longo dos pontos amostrados.

O Na foi o elemento mais abundante dentre os analisados neste estudo. Foram obtidas maiores concentrações de sódio para o período menos chuvoso e menores para o período chuvoso. Na primeira campanha, foram registrados valores entre 20,12 mg L<sup>-1</sup> e 21,04 mg L<sup>-1</sup>. Nas amostragens realizadas no período chuvoso, foram obtidas concentrações entre 6,98 mg L<sup>-1</sup> a 8,09 mg L<sup>-1</sup> no mês de abril e 5,18 mg L<sup>-1</sup> a 6,27 mg L<sup>-1</sup>, no mês de maio. Em setembro, a concentração de Na aumenta novamente, com variações entre 16,24 mg L<sup>-1</sup> a 19,20 mg L<sup>-1</sup>. A variação entre esses resultados é fortemente marcada pela sazonalidade, onde é possível inferir que as altas taxas de pluviosidade diluem a concentração de sódio nas águas naturais. Além disso, os resultados também podem ser influenciados pela maré e pela descarga diária de efluentes nos igarapés. Em estudo na baía de Guajará, Lopes *et al.* (2017) encontraram valores máximos de 3,7 ppm de sódio ao final do período menos chuvoso, associando as temperaturas mais altas durante esse período à evaporação e aumento na concentração do Na.

O K ocorre em pequenas concentrações em águas naturais. Nesse estudo, os resultados não variaram significativamente entre as campanhas de amostragem, abrangendo valores no intervalo de 1,72 mg L<sup>-1</sup> a 2,34 mg L<sup>-1</sup>. Não foi possível analisar os teores de potássio na última campanha de amostragem.



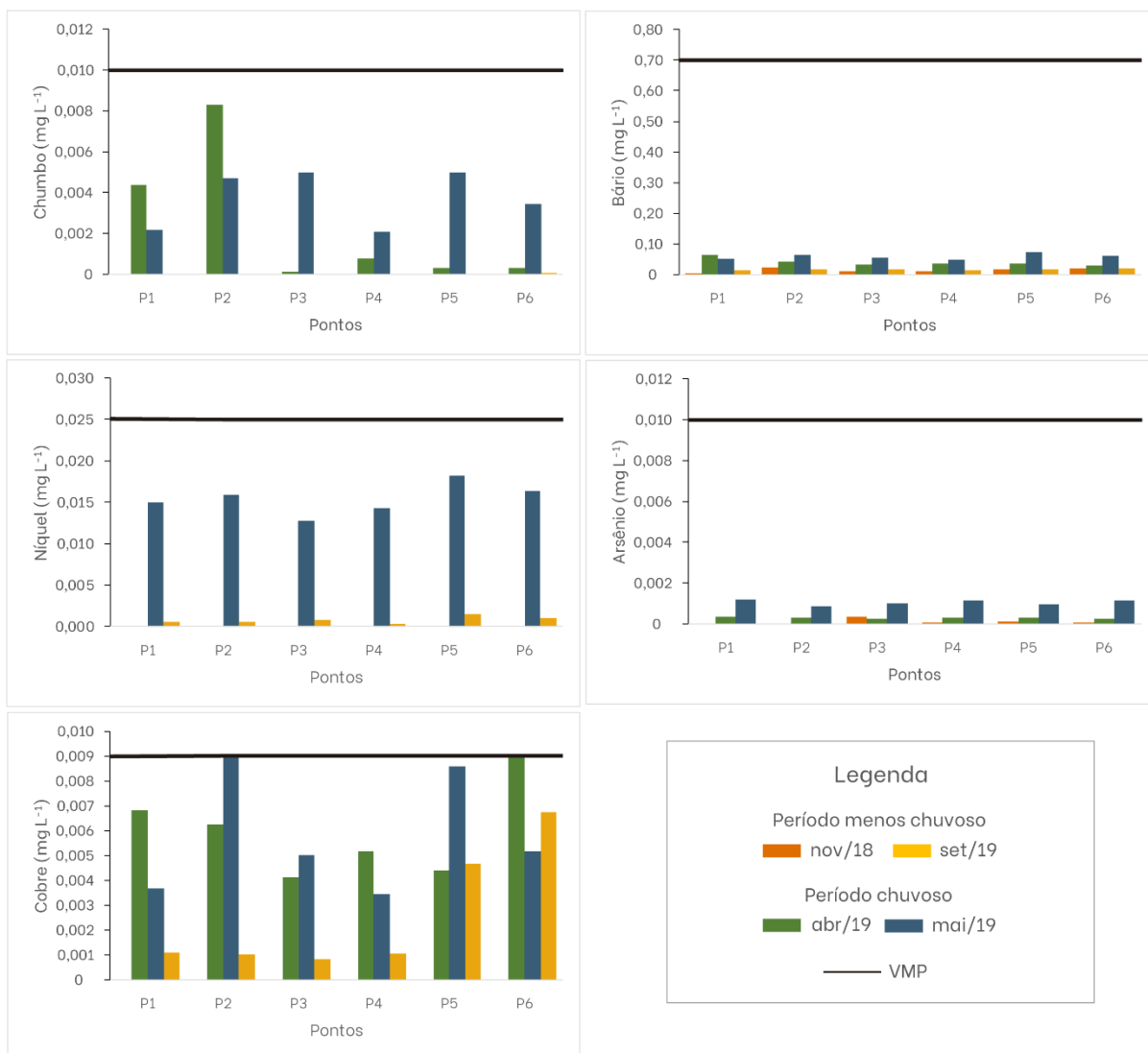


Figura 14 - Distribuição dos valores de Na, K, Ca, Mg, Pb, Ba, Al, Fe, Mn, Cu, Ni e As ao longo dos seis pontos de amostragem, no período chuvoso e no período menos chuvoso. VMP: valor máximo permitido pelo CONAMA 357/05.

O Ca apresentou teores mais baixos na primeira campanha de amostragem, com valores no intervalo de 1,34 mg L<sup>-1</sup> a 1,75 mg L<sup>-1</sup>. Nas campanhas seguintes, a concentração de cálcio aumentou significativamente da seguinte maneira: em abril, os valores ocorreram no intervalo de 4,96 mg L<sup>-1</sup> a 5,64 mg L<sup>-1</sup>, em maio entre 4,13 mg L<sup>-1</sup> a 5,33 mg L<sup>-1</sup>, e em setembro, entre 5,58 mg L<sup>-1</sup> a 6,79 mg L<sup>-1</sup>. O magnésio registrou comportamento inverso ao cálcio, com teores mais altos registrados na primeira campanha, com valores entre 3,45 mg L<sup>-1</sup> a 4,36 mg L<sup>-1</sup>, e mais baixos na campanha seguinte, com valores entre 1,00 mg L<sup>-1</sup> a 1,30 mg L<sup>-1</sup> no mês de abril, 1,02 mg L<sup>-1</sup> a 1,27 mg L<sup>-1</sup> no mês de maio e entre 1,90 a 2,63 mg L<sup>-1</sup> na campanha do mês de setembro.

O Fe apresentou teores entre  $0,001 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,03 \text{ mg L}^{-1}$  durante a primeira campanha de amostragem. Durante as amostragens realizadas no período chuvoso, a concentração de Fe aumentou significativamente, entre  $1,00 \text{ mg L}^{-1}$  a  $1,67 \text{ mg L}^{-1}$  na coleta de abril e  $2,89 \text{ mg L}^{-1}$  a  $3,82 \text{ mg L}^{-1}$  na coleta de maio, ultrapassando o limite de  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$  estabelecido pela CONAMA 357/05. Na última campanha de amostragem, no período menos chuvoso, houve uma queda nas concentrações de Fe obtidas, contudo, ainda permaneceram acima do valor máximo permitido pela legislação, variando entre  $0,67 \text{ mg L}^{-1}$  a  $1,51 \text{ mg L}^{-1}$  de Fe. Altos teores de ferro são comuns nas águas da RMB, em função dos sedimentos proveniente dos arenitos ferruginosos e das concreções ferruginosas da Formação Barreiras. Foram registrados por Carmona *et al.* (2010) concentrações de até  $6,79 \text{ mg L}^{-1}$  de Fe na bacia do igarapé Mata Fome, próxima a bacia do Paracuri.

O Al foi analisado nas amostras referentes às coletas de novembro, abril e setembro. As maiores concentrações foram verificadas na coleta referente ao período chuvoso, onde a concentração de Al variou entre  $0,23 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,38 \text{ mg L}^{-1}$ , acima do limite da legislação, de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ . Nas coletas referentes ao período menos chuvoso, o teor de Al se encontra dentro dos limites da legislação, com variação entre abaixo do limite de detecção do equipamento até  $0,006 \text{ mg L}^{-1}$  no mês de novembro, e entre  $0,042 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,09 \text{ mg L}^{-1}$  no mês de setembro. A concentração de Mn foi determinada nas coletas de novembro, abril e maio. Durante esse período, nota-se que o teor de Mn é maior para as coletas do período chuvoso, com variação entre  $0,047 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,074 \text{ mg L}^{-1}$  em abril e  $0,12 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,19 \text{ mg L}^{-1}$  em maio, neste último, os resultados excedem o valor máximo permitido pelo CONAMA ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ). A concentração de Mn na coleta de novembro, referente ao período chuvoso, apresentou valores abaixo do limite de detecção a  $0,005 \text{ mg L}^{-1}$ . Na região nordeste do Pará, teores de Al e Mn são verificados acima do valor máximo permitido pela legislação no município de Barcarena, principalmente em áreas próximas a produção de alumínio. Pereira *et al.* (2007), encontraram valores máximos de  $1,19 \text{ mg L}^{-1}$  de Al e  $0,19 \text{ mg L}^{-1}$  de Mn no rio Murucupi, em coletas feitas no período menos chuvoso.

O Ba apresentou teores mais baixos no período menos chuvoso, variando entre  $0,006 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,024 \text{ mg L}^{-1}$  em novembro e  $0,015 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,019 \text{ mg L}^{-1}$  em setembro, e concentrações mais altas no período chuvoso, entre  $0,030 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,065 \text{ mg L}^{-1}$  em abril e  $0,049 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,072 \text{ mg L}^{-1}$  em maio. O As se encontra em baixas concentrações nas águas analisadas, com teores abaixo do limite de detecção, sendo quantificado apenas no ponto 3 com valor de  $0,0004 \text{ mg L}^{-1}$  na primeira coleta. Nas segunda e terceira coletas, O As foi

quantificado em todos os pontos estudados variando de 0,0002 a 0,0003 mg L<sup>-1</sup> e 0,0009 mg L<sup>-1</sup> a 0,0012 mg L<sup>-1</sup> respectivamente.

O Ni, Cu, Zn e Pb apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção nas análises feitas na primeira coleta. Na segunda campanha, a concentração desses metais variou da seguinte maneira: o Cu apresentou valores entre 0,004 mg L<sup>-1</sup> a 0,009 mg L<sup>-1</sup>, o Zn variou entre 0,004 mg L<sup>-1</sup> a 0,013 mg L<sup>-1</sup>, o Pb entre 0,0001 mg L<sup>-1</sup> a 0,0083 mg L<sup>-1</sup> e o Ni apresentou valores abaixo do limite de detecção. Na terceira campanha, na coleta em maio, nota-se um acréscimo nas concentrações de Ni, Zn e Pb, que variam entre 0,013 mg L<sup>-1</sup> a 0,018 mg L<sup>-1</sup>, 0,016 mg L<sup>-1</sup> a 0,033 mg L<sup>-1</sup> e 0,0021 mg L<sup>-1</sup> a 0,0050 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. O Cu na terceira campanha permaneceu com valores no intervalo de 0,004 mg L<sup>-1</sup> a 0,009 mg L<sup>-1</sup>. Na coleta de setembro, as concentrações voltam a reduzir, com valores entre abaixo do limite de detecção a 0,001 mg L<sup>-1</sup> para o Ni, entre 0,001 mg L<sup>-1</sup> a 0,007 mg L<sup>-1</sup> para o Cu, entre 0,002 mg L<sup>-1</sup> a 0,010 mg L<sup>-1</sup> para o Zn e abaixo do limite de detecção em todos os pontos para o Pb.

De forma geral, é possível observar aumento na concentração de Fe, Al, Mn, Ba, Ni, Cu, Zn, Pb e As durante o período chuvoso. Nesse período, a descarga dos cursos d'água aumentam, e o escoamento superficial urbano traz consigo poluentes presentes na área urbana. Os metais também podem ser provenientes de atividades portuárias, principalmente o ferro e o alumínio. Na baía de Guajará, principalmente próximo à área de estudo, há presença de estaleiros, portos, tráfego de embarcações e até mesmo oxidação de embarcações abandonadas. Durante a preamar, esses metais podem ser trazidos para o igarapé e depositarem nos sedimentos argilosos no fundo desses córregos. No período chuvoso, esses sedimentos são remobilizados, aumentando a concentração desses metais nas águas superficiais.

A Tabela 13 resume as concentrações de todos os metais avaliados neste trabalho:

Tabela 13 - Concentração (mg L<sup>-1</sup>) dos metais analisados por ICP-MS, para as quatro campanhas de amostragem.

Coleta	Pontos	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Ba	As	Ni	Cu	Zn	Pb
<b>Período menos chuvoso (nov/18)</b>	P1	20,12	1,72	1,34	3,88	<LD	0,008	<LD	0,006	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P2	20,84	2,02	1,49	3,45	0,006	0,011	0,010	0,024	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P3	21,04	1,88	1,39	3,97	0,006	0,001	<LD	0,011	0,0004	<LD	<LD	<LD	<LD
	P4	21,03	1,96	1,45	3,82	<LD	0,007	<LD	0,012	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P5	21,04	2,18	1,75	4,36	<LD	0,030	0,005	0,017	0,0001	<LD	<LD	<LD	<LD
	P6	21,04	2,08	1,53	3,96	<LD	0,007	0,001	0,019	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>Período chuvoso (abr/19)</b>	P1	7,02	2,03	5,13	1,10	<b>0,313</b>	<b>1,003</b>	0,067	0,065	0,0003	<LD	0,007	0,013	0,0044
	P2	6,97	2,03	4,96	1,00	<b>0,337</b>	<b>0,967</b>	0,048	0,042	0,0003	<LD	0,006	0,007	0,0083
	P3	7,22	2,16	5,24	1,29	<b>0,233</b>	<b>1,666</b>	0,074	0,032	0,0003	<LD	0,004	0,005	0,0001
	P4	7,11	2,05	5,02	1,09	<b>0,276</b>	<b>1,175</b>	0,056	0,036	0,0003	<LD	0,005	0,004	0,0008
	P5	7,85	2,34	5,34	1,30	<b>0,248</b>	<b>1,150</b>	0,070	0,035	0,0003	<LD	0,004	0,006	0,0003
	P6	8,09	2,09	5,64	1,10	<b>0,379</b>	<b>0,996</b>	0,047	0,030	0,0002	<LD	0,009	0,012	0,0003
<b>Período chuvoso (mai/19)</b>	P1	5,28	1,96	4,91	1,20	NA	<b>3,572</b>	<b>0,169</b>	0,052	0,0012	0,015	0,004	0,016	0,0022
	P2	5,18	2,06	5,08	1,18	NA	<b>3,481</b>	<b>0,181</b>	0,063	0,0009	0,016	0,009	0,025	0,0047
	P3	5,30	1,79	4,13	1,02	NA	<b>2,808</b>	<b>0,128</b>	0,054	0,0010	0,013	0,005	0,029	0,0050
	P4	5,33	1,99	4,77	1,16	NA	<b>3,430</b>	<b>0,171</b>	0,049	0,0012	0,014	0,003	0,017	0,0021
	P5	6,27	1,83	4,46	1,12	NA	<b>2,889</b>	<b>0,124</b>	0,072	0,0010	0,018	0,009	0,033	0,0050
	P6	5,74	2,06	5,33	1,27	NA	<b>3,822</b>	<b>0,195</b>	0,062	0,0011	0,016	0,005	0,020	0,0034
<b>Período menos chuvoso (set/19)</b>	P1	16,37	NA	5,58	1,90	0,083	<b>0,728</b>	NA	0,015	NA	0,001	0,001	0,004	<LD
	P2	16,24	NA	5,50	2,06	0,081	<b>0,842</b>	NA	0,016	NA	0,001	0,001	0,005	<LD
	P3	18,17	NA	6,49	2,63	0,042	<b>1,511</b>	NA	0,017	NA	0,001	0,001	0,007	<LD
	P4	16,45	NA	5,62	1,89	0,054	<b>0,674</b>	NA	0,015	NA	<LD	0,001	0,002	<LD
	P5	18,75	NA	6,76	2,13	0,090	<b>0,815</b>	NA	0,017	NA	0,001	0,005	0,010	<LD
	P6	19,20	NA	6,79	2,11	0,090	<b>0,752</b>	NA	0,019	NA	0,001	0,007	0,009	<LD
<b>CONAMA 357/05</b>		-	-	-	-	0,1	0,3	0,1	0,7	0,01	0,025	0,009	0,18	0,01

NA - Não analisado; &lt;LD - abaixo do limite de detecção

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação dos parâmetros propostos neste estudo permitiu examinar as possíveis interferências naturais e antrópicas à qualidade das águas da bacia do Paracuri e, a partir disso, correlacionar as possíveis fontes de contaminação na área de estudo.

Dentre os parâmetros analisados, a temperatura, o pH, os sólidos totais dissolvidos e a amônia se enquadraram dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 para águas classe 2. O arsênio e metais como bário, zinco, níquel, cobre e chumbo também permaneceram dentro dos limites da legislação em todas as campanhas analisadas. Enquanto os outros parâmetros, como turbidez, surfactantes aniônicos, o alumínio, ferro e manganês tiveram concentrações acima do limite permitido em pelo menos uma das campanhas realizadas.

A influência de fatores climáticos é observada a partir do comportamento de parâmetros como a temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, e metais como sódio, magnésio, alumínio, ferro, manganês, arsênio, zinco e chumbo com o regime de precipitação da região. A CE e os STD são mais elevados durante o período menos chuvoso, quando há maior concentração de íons nas águas, dentre esses íons, os mais correlacionáveis são o sódio e o magnésio, pois verifica-se que esses elementos são mais abundantes durante o período menos chuvoso. Em contrapartida, o alumínio, o ferro, manganês, arsênio zinco e chumbo tiveram maiores concentrações durante o período chuvoso. É possível associar essa relação com a turbidez, que também é maior no período chuvoso, pois os metais, que decantam em um ambiente de hidrodinâmica estável, são remobilizados do fundo dos igarapés juntamente com os sedimentos, no período de chuvas. Por isso, os teores avaliados para esses metais são mais altos nesse período.

A análise de surfactantes aniônicos mostrou que as concentrações desse parâmetro na primeira e segunda coleta excederam em até 36 vezes o limite preconizado pela legislação. Por isso, infere-se que durante essas coletas houve lançamento direto de efluentes contendo esse analito. Foi observado também, a presença de amônia em todas as coletas realizadas, que é um parâmetro cuja presença é característica de locais com lançamento atual de efluentes domésticos e industriais. As concentrações mais altas desses analitos foram encontradas nas amostras coletadas no igarapé Paracuri, que passa pelo bairro homônimo, formado principalmente por aglomerados subnormais que

carecem de saneamento básico, o que corrobora com a hipótese de contaminação desses cursos hídricos por esgoto.

Também foi verificado que os teores de ferro em todas as análises excederam 10 vezes mais o valor máximo permitido pela legislação. Essas altas concentrações de ferro podem ter sua origem advinda principalmente de estaleiros que existem próximo a foz dos igarapés, das embarcações que transitam nas proximidades e que atracam nos portos próximos. Além disso, embarcações abandonadas que se encontram deterioradas também podem ser fontes do ferro e alumínio encontrado nessas águas.

É importante destacar que o estudo apenas dos parâmetros físico-químicos das águas da bacia do Paracuri não é suficiente para diagnosticar a qualidade das águas, pois se fazem necessários estudos microbiológicos e ecológicos dos organismos que habitam nessas águas. Contudo, dado o contexto social em que a população da bacia do Paracuri se insere, no qual utilizam os recursos hídricos dos igarapés estudados para a realização de atividades domésticas, como lavar roupa e tomar banho, e até mesmo para cozinhar e ingerir diretamente das águas, ressalta-se a relevância do estudo realizado, principalmente como fonte de informação aos habitantes dessa região e base de dados para possíveis futuros programas de controle ambiental e saúde pública.

## REFERÊNCIAS

- Adak A., Pal A., Bandyopadhyay. 2005. Spectrophotometric determination of anionic surfactants in wastewater using acridine orange. *Indian journal of Chemical Technology*, **12**:145-148.
- Albuquerque M.F., Souza E.B. Oliveira M. do C.F., Souza Júnior J.A. 2010. Precipitação nas mesorregiões do Estado do Pará: Climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). *Revista Brasileira de Climatologia*, **6**(6):151-168.
- Alcântara R. dos S., Souza S.S., Santos Filho E.M. 2014. Vulnerabilidade socioambiental do bairro do Paracuri, Icoaraci – Pará. In: 7º Congresso Brasileiro de Geógrafos, Vitória, Anais... Disponível em: [http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404156957\\_ARQUIVO\\_resumo\\_ro\\_milson.pdf](http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404156957_ARQUIVO_resumo_ro_milson.pdf). Acesso em: 10 abr. 2019.
- Alencar V.E.S.A., Rocha E.J.P., Souza Júnior J.A., Carneiro B.S. 2019. Análise de parâmetros de qualidade de água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **12**(2):661-680.
- Andrade D.F., Rocha M.S. 2016. A toxicidade do arsênio e a sua natureza. *Revista Acadêmica Oswaldo Cruz*, **10**. Disponível em: [http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao\\_10\\_Andrade\\_Daiene\\_Flor.pdf](http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_10_Andrade_Daiene_Flor.pdf). Acesso em: 21 jul. 2019.
- Agência Nacional de Águas-ANA. 2013. *Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios*. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerc/handle/ana/76>. Acesso em: 21 jul. 2019.
- American Public Health Association-APHA. 1999. *Standard methods for examination of water and wastewater*. Washington, 1325 p.
- Barbosa F.G., Wallner-Kersanach M., Baumgarten M.G.Z. 2012. Metais traço nas águas portuárias do estuário da Lagoa dos Patos, RS. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, **16**(2):27-36.
- Barros N.S., Britto A.L., Ximenes J. 2016. Alterações da dinâmica hídrica na formação espacial urbana da bacia do Paracuri, Belém-PA. In: 4º Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Porto Alegre, Anais..., p. 25-29.
- Carmona K.M., Matta M.A.S., Cavalcante I.N., Assis J.F.P., Cristo L.C.F., Vasconcelos Y.B. 2010. Ocupação urbana da bacia do Mata Fome, Belém-PA e sua relação com a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. *Revista Águas Subterrâneas*. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23124>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- Capitani E.M. 2009. Diagnóstico e tratamento da intoxicação por chumbo em crianças e adultos. *Medicina*, **42**(3):319-329.

- Carvalho A.R., Schlittler F.H.M., Tornisielo V.L. 2000. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físico químicos da água. *Química Nova*, **23**(5):618-622.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo-CETESB. 2016. *Qualidade das águas no Estado de São Paulo: Apêndice E – Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/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: 12 mai. 2019.
- Companhia de Desenvolvimento Econômico do Pará-CODEC. 2019. *Distrito industrial de Icoaraci*. Disponível em: <http://www.codec.pa.gov.br/icoaraci/>. Acesso em 01 dez. 2019.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução n° 375 de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em 03 mai. 2018.
- Corrêa I.C.S. 2005. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da baía de Marajó – PA. *Pesquisa em Geociências*, **32**(2):109-118.
- Cserháti T., Forgács E., Oros G. 2002. Biological activity and environmental impact of anionic surfactants. *Environment International*, **28**(5):337-348.
- Cunha L.C., Oliveira R.B., Azeredo F.S., Valadares M.C. 2006. Contrastes baritados: A toxicologia experimental como ferramenta no estabelecimento de nexos casuais de intoxicação maciça por bário. *Revista Eletrônica de Farmácia*, **3**(2):68-74.
- Díaz T.G., Teodoro A.L., Rojas I.C.O., Chitiva A.F.P., Guzman J.A.P. 2015. Metabolismo do cobre na nutrição animal: Revisão. *PubVet*, **9**(5):279-286.
- El Robrini M., Ranieri L.A., Silva P.V.M., Guerreiro J.S., Alves M.A.M. da S., Oliveira R.R.S., Silva M. do S.F., Amora P.B.C., El Robrini M.H.S., Fenzl N. 2018. *Panorama da erosão costeira – Pará – Brasil*. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, 120 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. 2011. *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de águas*. Colombo, Embrapa Florestas, 70 p.
- Emerson K., Russo R.C., Lund R.E., Thurston R.V. 1975. Aqueous ammonia equilibrium calculation: Effect of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **32**:2379-2383.
- Esteves F. de A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, Interciências, 226 p.
- Faria M.P. 2019. Mariana e Brumadinho: a repercussão dos desastres do setor de mineração na saúde ambiental. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, **17**:16-17.
- Felipe L.O., Dias S.C. 2016. Surfactantes sintéticos e biosurfactantes: Vantagens e desvantagens. *Química Nova Escola*, **39**(3):228-236.

- Ferreira P.C., Piai K.A., Takayanagui A.M.M., Segura-Muñoz S.I. 2008. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, **16**(1):151-157.
- Foley D., McKenzie G. D., Utgard R. O. 2009. *Investigation in environmental geology*. New Jersey, Pearson, 304 p.
- Fontanella A., Coutinho A., Perry C., Rheinheimer C., Schneck F., Iob G., Mattei G., Silva J., Mahfus J., Tallini K., Amaral K.F., Vasconcelos M., Bergmann M., Langone P., Pereira R., Silva R.R.V. da, Ávila T., Soldatelli V., Hartz S.M., Rpdrigues G.G., Guerra T. 2009. Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio da Ilha, Taquara, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, **7**(1):23-41.
- Förstner U., Wittmann G.T.W. 1983. *Metal pollution in the aquatic environment*. Berlim, Springer-Verlag, 508 p.
- Frančičković-Bilinski S., Cuculić V., Bilinski H., Häusler H., Stadler P. 2013. Geochemical and stable isotopic variability within two rivers rising under the same mountain, but belonging to two distant watersheds. *Chemie der Erde*, **73**:293-308.
- Gama J.R.V., Souza A.L., Martins S.V., Souza D.R. 2005. Comparação entre florestas de várzea e de terra firme do Estado do Pará. *Revista Árvore*, **29**(4). Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622005000400013](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000400013). Acesso em: 21 jul. 2019.
- Góes A.M., Rossetti D.F., Nogueira A.C.R., Toledo P. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Ciências da Terra 2:3-15.
- Gomes E. dos S. 2014. *A urbanização e os assentamentos precários na Bacia do Paracuri – Belém-PA*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Pará, 120 p.
- Gonzaga D.H.P., Rodrigues R.M. 2014. Identificação de assentamentos precários em áreas de preservação permanente e na área de expansão de Belém (PA). In: APPURBANA, Belém. *Anais...* Disponível em: <http://anpur.org.br/app-urbana-2014/anais/ARQUIVOS/GT2-241-126-20140601100818.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2019.
- Gregório A.M. da S., Mendes A.C. 2009. Characterization of sedimentary deposits at the confluence of two tributaries of the Pará River estuary (Guajará Bay, Amazon). *Continental Shelf Research*, **29**(2009):609-618.
- Guedes J. de A. 2011. Poluição de rios em áreas urbanas. *Ateliê Geográfico*, **5**(2):212-226.
- Gutierrez C.B.B., Ribeiro H.M.C., Morales G.P., Santos L.S., Gutierrez D.M.G. Análise da qualidade da água no ponto de captação dos mananciais de uma capital amazônica durante o período ativo de um lixão situado no entorno. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. Disponível em: <http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/11/mananciais.html>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- Hem J.D. 1985. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. Alexandria, U.S Geological Survey, 264 p.

Instituto Nacional de Meteorologia-INMET. 2019. *Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 10 set. 2019.

Ivanov V.M., Figurovskaya V.N., Barbalat Y.A., Erdhova N.I. 2005. Chromaticity characteristics of  $\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{I}_3$  and  $\text{I}_2$ : Molecular iodine as a test form alternative to Nessler's reagent. *Analytical Chemistry*, **60**(7):629-632.

Jurado E., Fernández-Serrano M., Núñez-Olea J., Luzón G., Lechuga M. 2006. Simplified spectrophotometric method using methylene blue for determining anionic surfactants: applications to the study of primary biodegradation in anerobic screening tests. *Chemosphere*, **65**:278-285.

Källqvist T., Svenson A. 2003. Assessment of ammonia toxicity in tests with the microalga, *Nephroselmis pyriformis*, Chlorophyta. *Water Research*, **37**:477-484.

Kikuchi Y., Tanuma Y., Inocue S. 2011. Simple colorimetric method using digital camera for the determination of anionic surfactants in river water with ion pair extraction. *Bunsekikagaku*, **60**:743-748.

Koga M., Yamamichi Y., Nomoto Y., Irie M., Tanimura T., Yoshinaga T. 1999. Rapid determination of anionic surfactants by improved spectrophotometric method using methylene blue. *Analytical Sciences*, **15**:563-568.

Kurrey R., Mahilang M., Deb M.K., Shrivastava K. 2019. Analytical approach on surface active agents in the environment and challenges. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, **21**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214158818300230>. Acesso em: 10 set. 2019.

Liebhafsky H.A., Bronk L.B. 1948. Action of Nessler's reagent on amines. *Analytical Chemistry*, **20**(6):588-589.

Lisboa T.F.P. 2013. *Vulnerabilidade e capacidade de resposta a ameaça de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Paracuri, Belém-PA*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Pará. 111 p.

Lopes L. de N.A. 2008. *Os impactos dos assentamentos informais nos recursos hídricos: caso da bacia hidrográfica do Igarapé Mata Fome, cidade de Belém-PA*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, 170 p.

Lopes Y.K.L., Neu V., Felizzola J.F., Teixeira L.C.G.M., Costa C.E.A. de S. 2017. Variabilidade hidrogeoquímica em águas do Estuário Amazônico. *Ambiência Guarapuava*, **13**(2):325-341.

Macedo C.F., Sipaúba-Tavares L.H. 2010. Eutrofização e qualidade de água na piscicultura: consequências e recomendações. *Boletim do Instituto de Pesca*, **36**(2):149-163.

Miranda M.V.T., Santos M. de L.S., Pereira J.A.R., Mesquita K.F.C. 2015. Índices de qualidade da água da ilha de Mosqueiro – PA. *Revista DAE*, **27**(3):74-81.

- Ministério de Minas e Energia-MME. 2009. *Relatório técnico 42: Perfil da barita*. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM, 54 p.
- Mohseni O., Stefan H.G., Eaton J.G. 2003. Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams. *Climatic Change*, **59**:389-409.
- Moraes B.C., Costa J.M.N., Costa A.C.L., Costa M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica*, **35**(2):207-214.
- Moreira P.A., Bueno S.M. 2019. Presença de cromo hexavalente na água potável. *Revistas Unilago*, **1**. Disponível em: <http://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-medica/article/view/140/121>. Acesso em: 21 set. 2019.
- Ministério Público do Estado do Pará-MPPA. 2019. *Justiça determina entrega dos imóveis do Projeto do Paracuri até o final de 2020*. Disponível em: <https://www2.mppa.mp.br/noticias/justica-determina-entrega-dos-imoveis-do-projeto-do-paracuri-ate-o-final-de-2020.htm>. Acesso em: 03 out. 2019.
- Myers D. 2006. *Surfactant science and technology*. New Jersey, Wiley-Interscience, 380 p.
- Ochiai E. 1995. Toxicity of heavy metals and biological defense: Principles and applications in bioinorganic chemistry-VII. *Journal of Chemical Education*, **72**(6):479-484.
- Paixão L.M.D. 2016. Impactos da escassez de água na economia. *Resolução: Revista de direito e ciências gerenciais*, **1**(1):151-163.
- Pereira L.P.F., Mercante C.T.J. 2005. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. *Boletim do Instituto de Pesca*, **31**:81-88.
- Pereira S.F., Lima M.A., Freitas K.H., Mescouto C.S., Saraiva A.F. 2007. Estudo químico ambiental do rio Murucupi – Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio. *Revista Ambiente e Água*, **2**(3):62-82.
- Pereira A.C., Rocha F.R.P. 2013. A multicommuted flow system with liquid-liquid microextraction for determination of anionic surfactants. *Analytical Methods*, **5**:2104-2109.
- Pinheiro R.V.L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará – Belém (PA)*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, 152 p.
- Porto M.F.A., Porto R.L. 2008. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, **22**(63):43-60.
- Ribeiro T.G., Boaventura G.R., Cunha L.S., Pimenta S.M. 2016. Estudo da qualidade das águas por meio da correlação de parâmetros físico-químicos, bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. *Geochimica Brasiliensis*, **30**(1):84-94.
- Rodrigues R.M., Tavares A.N.M., Miranda T.B. 2016. Urbanizar as “baixadas”: experiências de projetos de urbanização de assentamentos precários em áreas de

preservação permanente em Belém (PA). In: 4º Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, *Anais...* Porto Alegre, p. 25-29.

Rossetti D.F., Góes A.M., Truckenbrodt W. 1990. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Ciências da Terra 2:17-29.

Rossetti D.F. 2006. Evolução sedimentar miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. *Revista do Instituto de Geociências*, 6(2):7-18.

Reis J.A.T., Mendonça A.S.F. 2009. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14(3):353-362.

Santos C.C. 2014. *Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em sedimentos e organismos bentônicos do terminal de Miramar (baía de Guajará – Belém – Pará – Amazônia)*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, 104 p.

Santos T.N.O., Lucas Júnior V.S. 2017. Avaliação da variação do parâmetro turbidez no rio Gualaxo do Norte após o rompimento da barragem de fundão no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG (Estudo de caso). In: *Congresso ABES/Fenasan 2017, Anais...* São Paulo, p. 1-6.

Saraiva A.L. de L. 2007. *Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo na baía de Guajará – Belém (PA)*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, 122 p.

Saraiva J.B, Morais A.B.P. de, Rosário K.K.L. de, Rosa Junior L. dos S. 2017. Avaliação do sistema de drenagem urbana da Bacia do Paracuri: a necessidade da integração adequada dos sistemas de saneamento para a eficiência da drenagem urbana nos bairros Ponta Grossa e Paracuri, em Belém/PA. In: 9º SBEA + ENEEAmb + 3º FLES, Blucher Engineering Proceedings, *Anais...* Belo Horizonte, p. 720.

Scott M.J., Jones M. N. 2000. The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1508:235-251.

Silva A.M. 2003. *Gestão de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas urbanas*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, 151 p.

Silva A.E.P., Angelis C.F., Machado L.A.T. 2007. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. In: 13º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, *Anais...* Florianópolis, p. 3577-3584.

Silva A.R.S., Santana M.D.S., Pascoal R.M., Silva R.N.L. 2016. Urbanização desordenada: consequências socioambientais na bacia hidrográfica do Paracuri II, distrito de Icoaraci-PA. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará*, 03(01):31-50.

Skoog D., West D., Holler J., Crouch S. 2006. *Fundamentos de química analítica*. Tradução da 8ª ed., São Paulo, Editora Thomson, 1026 p.

- Sodré S. do S.V. 2014. *Desenvolvimento metodológico e avaliação de contaminação por HPAs em sedimentos da baía de Guajará, Belém – PA*. Phd Thesis, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, 110 p.
- Sorensen D.L., McCarthy M.M., Middlebrooks E.J. Porcella D.B. 1977. *Suspended and dissolved solids effects on freshwaters biota: A review*. Oregon, U.S. Environmental Protection Agency, 65 p.
- Souza E.F., Peres M.R., Moraes S.B. 2010. Avaliação do desempenho de surfactantes para a solubilização de fases líquidas não aquosas em meio aquoso. *Química Nova*, **33**(3):532-538.
- Tatumi S.H., Silva L.P., Pires E.L., Rossetti D.F., Góes A.M., Munita C.S. 2008. Datação de Sedimentos Pós-Barreiras no Norte do Brasil: implicações paleogeográficas. *Revista Brasileira de Geociências*, **38**(3):514-524.
- Tchounwou P.B, Yedjou C.G., Patrolla A.K., Sutton D.J. 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environment Toxicology*, 133-164.
- Thompson J.F., Morrison G.R. 1951. Determination of organic nitrogen: control of variables in the use of Nessler's reagent. *Analytical Chemistry*, **23**(8):1153-1157.
- Tucci C.E.M. 2000. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 943 p.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. 2013. *Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia – freshwater*. Washington DC, Office of Science and Technology, 242 p.
- Vieira E. de L., Alves R.J.M., Pontes A.N. 2016. O artesanato de Icoaraci: Um estudo sobre os indivíduos envolvidos no comércio de cerâmica em Belém, Pará, Brasil. *Revista Construções a las Ciencias Sociales*. Disponível em: <http://www.eumed.net/rev/cccss/2016/04/ceramica.html>. Acesso em: 29 dez. 2019.
- Von Sperling M. 1996. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 243 p.
- Wang Z., Leung K.N.Y. 2015. Effects of unionised ammonia on tropical freshwater organism: Implications on temperature-to-tropic extrapolation and water quality guidelines. *Environmental Pollution*, **205**:240-249.
- Weber-Scannell P.K., Duffy L.K. 2007. Effects of total dissolved solids on aquatic organisms: A review of literature and recommendation for salmonid species. *American Journal of Environmental Sciences*, **3**(1):1-6.
- Yuan C.L., Xu Z.Z., Fan M.X., Liu H.Y., Xie Y.H., Zhu T. 2014. Study on characteristics and harm of surfactants. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **6**(7):2233-2237.