

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Brenda Melise Pinheiro Morbach Paredes

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DO CANAL
SÃO JOAQUIM, BELÉM-PA.**

Orientador: Prof.º Dr. Lindemberg Lima Fernandes

Belém
2016

Brenda Melise Pinheiro Morbach Paredes

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DO CANAL
SÃO JOAQUIM, BELÉM-PA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Concentração em Engenharia Hídrica, linha de pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes

Belém
2016

Brenda Melise Pinheiro Morbach Paredes

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DO CANAL
SÃO JOAQUIM, BELÉM-PA.**

Data da Defesa: 15/03/2016

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA:

Professor Dr. Lindemberg Lima Fernandes (Orientador)
Universidade Federal do Pará

Professora Dra. Érika da Justa Teixeira Rocha
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará

Professor PhD. Cláudio José Cavalcante Blanco
Universidade Federal do Pará

Professora Dra. Luiza Carla Girard Mendes Texeira
Universidade Federal do Pará

Belém/PA
2016

À Deus por me conceder o dom da vida.
Aos meus pais por acreditarem em mim e serem meus bons exemplos de vida.
Ao meu marido Bruno pela dedicação e amor.

AGRADECIMENTOS

À Deus meu eterno agradecimento pelo dom da vida, por me conceder saúde e por manifestar seu amor infinito por mim através de tantas pessoas, e por realizar milagres em minha vida todos os dias.

Ao meu pai, Arthur (in memorian), minha eterna inspiração, por sempre me incentivar a buscar minhas melhoras através dos estudos, sempre com “pé no chão” e humildade.

Agradeço à minha mãe Edilene, por ser o meu maior exemplo de força e resiliência. À ela que nunca mediu esforços pra ver meu sucesso e fez dos meus sonhos os dela.

Ao meu irmão Arthur e minha tia Ana por sempre vibrarem com minhas conquistas e me apoiarem em todas as minhas decisões.

Ao meu marido Bruno por estar sempre ao meu lado em toda minha vida acadêmica, me dedicando todo seu amor e atenção. Sendo minha fortaleza nos momentos de fraqueza e oferecendo o melhor de si para me ver feliz.

À minha família, em especial meus tios Góes, Márcia, Simone e meu avô Deodoro por todo incentivo e apoio nos estudos. Eles contribuíram significativamente para o meu ingresso e conclusão do Ensino Superior.

Aos meus sogros Ruth e Cássio por me abraçarem como filha e me dedicaram atenção e amor. Agradeço a oportunidade e incentivo que me deram para o ingresso no Mestrado

Ao meu orientador, Dr. Lindemberg Lima Fernandes, pela paciência e atenção, por acreditar na minha capacidade e por compartilhar sua sabedoria na arte de ensinar, essencial para a minha formação.

A todos os meus amigos e colegas da pós-graduação e do GAES que sempre estiveram comigo nos momentos de dificuldade, em especial a Raimunda, Luciana e Daniele, meus sinceros agradecimentos pelo companheirismo e amizade.

Aos meus amigos do grupo Amor e Fé pelas orações, torcida e amizade sincera.

À equipe do Instituto Evandro Chagas em especial Bruno, Marcelo, Marcos e Camila e a professora Karla do Instituto de Ciências Biológicas pelo apoio que me deram para a realização dessa pesquisa

Ao CNPq, que financiou este trabalho e colabora constantemente no desenvolvimento técnico-científico do nosso país.

RESUMO

O processo de urbanização e a ocupação desordenada de áreas próximas às margens de canais urbanos geram grandes impactos a esses corpos hídricos, sendo um dos principais, o lançamento de efluentes. O canal São Joaquim, Belém-Pa, é considerado o maior canal urbano de Belém, e já sofre com tais impactos, além de ser atingido pela falta de saneamento ambiental, em sua Sub Bacia, tal situação pode ser observada nos resultados obtidos em 12 meses de amostragem ao longo de três pontos, desde sua nascente até sua foz. Esta pesquisa teve como objetivo a análise da qualidade da água do referido Canal, em parâmetros físicos, químicos e biológicos, através do Índice de Qualidade da Água (IQA) e da aplicação de estatística descritiva, analítica e multivariada, sendo possível observar a degradação deste corpo hídrico causada, principalmente, por matéria orgânica, resultado este obtido através das análises de OD, DBO, Nitrogênio Total, Fósforo Total, e Coliformes Termotolerantes. O IQA foi calculado para o Canal, tendo sido obtido o valor igual a 49 classificando-o como de qualidade “aceitável”. Ao realizar uma comparação sazonal entre períodos seco e chuvoso, e condições de maré, através dos testes de hipótese de Mann Whitney e Teste T de Student, foi possível observar que não houve uma variabilidade significativa entre as variáveis, com exceção da Temperatura, a qual apresentou uma variação entre os períodos seco e chuvoso. A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para a verificação da similaridade entre os pontos para cada variável analisada. Ao realizar uma avaliação temporal de qualidade da água do canal, entre os anos de 1988; 2002; 2005; 2006; 2011 e 2014. A análise de componente principal propiciou a formação de 3 componentes que juntos explicaram 67,53% das variabilidades dos dados, sendo essas variáveis indicativas de ação antrópica.

Palavras Chaves: Qualidade da água, Canal São Joaquim, IQA, Análises Estatística.

ABSTRACT

The process of urbanization and illegal occupation of urban channel margins nearby areas generate large impacts on these water bodies, the main one being the discharge of effluents. The channel São Joaquim, Belém Pa, is considered the largest urban channel Bethlehem, and already suffers from such impacts, as well as being affected by the lack of sanitation in its Sub Basin, such a situation can be observed in the results obtained in 12 months sampling over three points from its source to its mouth. This study aimed to analyze the said water quality Canal in physical, chemical and biological parameters through the IQA and application of descriptive statistics, analytical and multivariate analysis, being possible to observe the degradation of this water body caused mainly by organic matter, which was obtained through the OD analysis, BOD, total nitrogen, total phosphorus, and thermotolerant coliforms. The Water Quality Index was calculated for the Channel and was obtained the value of 49 classifying it as quality "acceptable." When performing a seasonal comparison between dry periods and wet, and tide conditions, using the Mann Whitney hypothesis tests and test T Student, it was observed that there was significant variability between the variables, except for the temperature, which It showed a variation between the dry and rainy seasons. The analysis of variance (ANOVA) was applied for the verification of similarity between the points for each variable analisada. Ao perform a temporal assessment of water quality of the channel between the years 1988; 2002; 2005; 2006; 2011 and 2014, it was observed that the degradation of the channel has a history of nearly 30 years, a situation confirmed by the analysis of indicator variables of organic matter. The principal component analysis led to the formation of three components that together represented 67.53% of the variability of the data, and these variables explained by the ACP, anthropic action indicative.

Keywords: Water Quality, São Joaquim Channel, IQA, Analysis Statistics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagens aéreas da delimitação das bacias hidrográficas de Belém	19
Figura 2: Os impactos da urbanização nos Recursos Hídricos.....	24
Figura 3: Assoreamento observado na seção do canal São Joaquim.....	25
Figura 4: Resíduos sólidos observados nas margens e dentro do canal São Joaquim.....	26
Figura 5: Pirâmide de Informações	28
Figura 6: Curvas médias de variação da qualidade da água do IQA.....	31
Figura 7: Exemplo de matriz de dados	37
Figura 8: Rotação para o caso bivariado	38
Figura 9: Exemplo de uma Matriz.....	40
Figura 10 - Delimitação da sub bacia do canal São Joaquim	45
Figura 11 - Localização dos pontos de amostragem no canal São Joaquim.....	48
Figura 12 - Localização do ponto 01 localizado no bairro do Mangueirão.....	49
Figura 13 - Localização do ponto 02 localizado no bairro da Sacramento.....	50
Figura 14: Localização do Ponto 03 localizado no bairro do Barreiro.....	51
Figura 15: Localização dos Pontos de Amostragem na sub bacia do Canal São Joaquim.....	51
Figura 16 - Kit de coleta de água e medição utilizada na pesquisa.	56
Figura 17: Amostras preservadas para transporte até o laboratório de análise.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de Qualidade da água Doce e seus usos preponderantes.....	22
Tabela 2: Padrões de qualidade da água para águas doces classe 2.	23
Tabela 3 - Pesos relativos de cada variável do IQA.	30
Tabela 4 - Faixa de valores de IQA.....	33
Tabela 5: Lista de bairros inseridos na microbacia, suas respectivas áreas e densidade populacional de Belém e Ananindeua.....	46
Tabela 6: Número de Total de Domicílios Permanentes dos Bairros da Sub Bacia.....	46
Tabela 7: Condições do abastecimento de água dos domicílios.....	47
Tabela 8: Localização dos pontos de amostragem do canal são Joaquim.....	49
Tabela 9 - Data, hora e tábua de Maré das campanhas de amostragem.	53
Tabela 10: Equações representativas das curvas de qualidade do NSF para determinação dos valores de q_i para as nove variáveis utilizadas no cálculo do IQA.....	60
Tabela 11: IQA modelo para águas doces classe 2, 3 e 4 da Resolução CONAMA nº 357/2005.	61
Tabela 12: Variáveis físico-químicas e microbiológicas e IQA do Ponto 01.	64
Tabela 13: Variáveis físico químicas e microbiológicas e IQA do Ponto 02.....	64
Tabela 14: Variáveis físico químicas e microbiológicas e IQA do Ponto 03.....	65
Tabela 15: Valores de IQA obtidos nos três pontos de amostragem entre Fevereiro de 2014 a Janeiro de 2015.....	84
Tabela 16: Estatística Descritiva das variáveis analisadas no Canal São Joaquim.	86

LISTA DE GRÁFICOS E FLUXOGRAMAS

Gráfico 1: Observação da sazonalidade da precipitação no Município de Belém.	52
Gráfico 2- Intensidade Pluviométrica de 2014 e 2015 no Município de Belém.	54
Gráfico 3: Box Plot para a variável pH, nos três pontos de coleta.	66
Gráfico 4: Box Plot para a variável Temperatura, nos três pontos de coleta.	68
Gráfico 5: Box Plot para a variável Resíduo Total, nos três pontos de coleta.	70
Gráfico 6: Box Plot para a variável OD, nos três pontos de coleta.	72
Gráfico 7: Box Plot para a variável Turbidez, nos três pontos de coleta.	74
Gráfico 8: Box Plot para a variável DBO, nos três pontos de coleta.	76
Gráfico 9: Box Plot para a variável Fósforo Total, nos três pontos de coleta.	78
Gráfico 10: Box Plot para a variável Nitrogênio Total, nos três pontos de coleta.	80
Gráfico 11: Box Plot para a variável Coliformes Termotolerantes, nos três pontos de coleta.	81
Gráfico 12: Variação do IQA obtida ao longo do ano nos três pontos de coleta.	85
Fluxograma 1- Etapas do estudo.	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	GERAL.....	14
2.2	ESPECÍFICOS.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1	A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA	15
3.2	CRESCIMENTO URBANO EM BELÉM.....	16
3.3	AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE BELÉM	18
3.4	A IMPORTÂNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO.....	19
3.4	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AO CONTROLE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	21
3.6	A URBANIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS	23
3.7	INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTAIS	26
3.8	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA).....	28
3.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	36
	<i>3.8.1 Análise de Componentes Principais</i>	<i>38</i>
4	ÁREA DE ESTUDO	44
4.1	DADOS DE SANEAMENTO DA SUB BACIA DO CANAL SÃO JOAQUIM	45
5	MATERIAL E MÉTODOS	48
5.1	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	48
	<i>5.1.1 Caracterização dos Pontos de amostragem.....</i>	<i>49</i>
	<i>5.1.2 Levantamento das variáveis climatológicas e hidrométricas</i>	<i>52</i>
	<i>5.1.3 Planejamento e Realização das Atividades</i>	<i>54</i>
5.2	PROCEDIMENTO DE COLETA.....	55
5.3	ANÁLISE DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS	57
	<i>5.3.1 Análise das variáveis físico-químicas e microbiológicas.....</i>	<i>58</i>
5.4	CÁLCULO DO IQA.....	59
5.5	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	62
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
6.1	ANÁLISE DOS PARÂMETROS	65
	<i>6.1.1 pH.....</i>	<i>65</i>

<i>6.1.2 Temperatura</i>	68
<i>6.1.3 Resíduos totais (RT)</i>	69
<i>6.1.4 Oxigênio Dissolvido (OD)</i>	71
<i>6.1.5 Turbidez</i>	74
<i>6.1.6 Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO)</i>	76
<i>1.6.7 Fósforo Total (PT)</i>	78
<i>1.6.8 Nitrogênio Total (NT)</i>	79
<i>1.6.9 Coliformes Termotolerantes (CT)</i>	81
6.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	83
6.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA).....	84
6.4 ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS	86
7 CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	91

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável à sobrevivência da humanidade, sendo fator determinante para o desenvolvimento econômico de um país, utilizado como indicador das consequências do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas (VERONEZ, 2011). O processo de urbanização provoca o aumento das concentrações populacionais, que por sua vez, modifica a paisagem urbana e provoca alterações físicas, químicas e biológicas no meio ambiente, devido ao uso irracional dos recursos naturais e à contaminação por despejos domésticos e industriais em corpos hídricos (TUCCI E MENDES, 2006)

O Brasil sofre sérios problemas com escassez de água, seja em termos quantitativos, pela distribuição irregular desse recurso em suas regiões, e em termos qualitativos, pelo sistema deficitário de saneamento básico (COELHO, 2013).

Guerra e Cunha (2004) afirmam que o crescimento dos centros urbanos e o empobrecimento da população ocasionam concentrações populacionais desordenadas e construções sem infraestrutura que se localizam próximos aos cursos d'água ou zonas litorâneas. Em Belém-PA, o início da ocupação populacional se deu às margens dos rios, e com o aumento populacional ocorrido a partir de 1970, as “áreas de baixada” começaram a ser ocupadas por pessoas de baixo poder aquisitivo. Essas áreas eram localizadas em terrenos alagadiços e sem nenhuma infraestrutura para o desenvolvimento de uma vida digna. Essa situação contribuiu significativamente para o agravamento das condições habitacionais influenciando diretamente na qualidade de vida da população e do meio ambiente. (ABELÉM, 1982).

Em várias áreas urbanas do Brasil, os cursos d'água que cortam as cidades, em geral, são transformados em canais retificados onde se despeja tanto a água pluvial, quanto os efluentes domésticos não tratados (CARVALHO, 2011). Nesse contexto, se enquadra a sub-bacia do Canal São Joaquim, em Belém, PA, que apresenta um cenário de ocupação irregular (TARGA *et al*, 2012). Essa sub-bacia pertence a maior bacia hidrográfica de Belém, a bacia do Una, caracterizada pela ocupação de pessoas de baixa renda, em moradias precárias e com carência de nos serviços de saneamento básico, interferindo diretamente na saúde e bem estar dos moradores desse local.

Os índices e indicadores ambientais são empregados como uma forma de acompanhar, através de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo. O Índice de Qualidade da Água (IQA) é um bom

exemplo de índice utilizado para avaliar o grau de poluição de um corpo hídrico. Esse índice é muito utilizado por indicar a qualidade da água de forma resumida através de um número numa escala entre 0 e 100. Os parâmetros utilizados no cálculo desse índice são em sua maioria indicadores de contaminação provocados pelo lançamento de esgotos domésticos (CETESB, 2014).

Outra técnica utilizada para avaliar a qualidade da água é a utilização de estatística descritiva, analítica e multivariada, como a análise de componentes principais (Shoji et al., 1966; Lohani & Mustapha, 1982; Haase & Possoli, 1993), escolhido neste trabalho pela possibilidade de interpretação dos dados. Esta técnica permite selecionar as variáveis mais representativas do corpo hídrico, favorecendo a definição de indicadores mais sensíveis, tanto para adoção de um programa de monitoramento como para avaliação das alterações ocorridas nos recursos hídricos.

Assim, o trabalho visa avaliar a qualidade dos recursos hídricos do canal São Joaquim, Belém-Pa ao longo do tempo, tendo em vista as alterações ocasionadas principalmente pelas atividades antrópicas através do processo desordenado de urbanização. Para isso, a pesquisa realizada utilizou o IQA para verificar a possibilidade de interpretar facilmente as informações ambientais que são de fundamental importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Sendo finalizado com a aplicação de testes estatísticos para definir as principais variáveis que influenciam na qualidade da água do referido canal.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

- Avaliar a qualidade da água superficial do Canal São Joaquim, Belém-PA, através da análise dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água, e classifica-las através do Índice de Qualidade da Água (IQA).

2.2 ESPECÍFICOS

- Aplicar a estatística descritiva, analítica e multivariada para analisar as variáveis de qualidade da água
- Classificar a água superficial de acordo com a resolução CONAMA nº 357/05;
- Comparar a qualidade da água do canal nos períodos seco e chuvoso;
- Calcular o índice de Qualidade da Água (IQA) para o Canal;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA

A água é um recurso natural de extrema importância para a sobrevivência dos seres vivos que habitam o ecossistema terrestre. Em nosso planeta, $\frac{3}{4}$ de sua superfície é composta de água, sendo que deste total, 97% é salgada e 3% é doce. Desse pequeno percentual, grande parte está indisponível para consumo humano, já que se encontra em calotas polares, e apenas 1% é adequada para o consumo. Os volumes de água estocados nas calhas dos rios e nos lagos de água doce somam cerca de 200 mil km³. Esses mananciais são os mais acessíveis e utilizados para atendimento das necessidades sociais e econômicas da humanidade e são absolutamente vitais aos ecossistemas (REBOUÇAS, 2006).

O Brasil é um dos países mais ricos em termos de recursos hídricos (o país detém cerca de 12% de todo recurso hídrico mundial, sendo que, 80% está disponível na região Amazônica) (REBOUÇAS, 2006). Apesar disso, a distribuição irregular gera sérios problemas relacionados à falta de água, principalmente na região nordeste.

Além da falta de água pela sua má distribuição, alguns lugares do mundo têm enfrentado sérios problemas de escassez, em termos de qualidade. Esse fato deve-se ao uso irracional da água, decorrente de ações antrópicas, o que gera a degradação de muitos corpos hídricos (VERONEZ, 2011).

A água é um fator condicionante para a subsistência humana. Entretanto, é bastante suscetível a danos e pode se tornar um veículo para a transmissão de várias doenças.

Os ecossistemas aquáticos são extremamente sensíveis aos impactos provocados pela atividade humana, fato que pode ser observado em análise da água de áreas com diferentes concentrações populacionais (CAMARGO *et al.*, 1995). O destino final de efluentes líquidos e a deposição inadequada de resíduos sólidos urbanos representam fontes de contaminação das águas, por substâncias orgânicas e inorgânicas e vários organismos patogênicos (SILVA e ARAUJO, 2003).

A água é o elo principal entre saúde e saneamento básico. Por esse motivo, autoridades sanitárias buscam incessantemente atender à população com serviço de abastecimento de água a fim de promover a saúde da população. Visa-se, com isso, reduzir os casos de doenças de veiculação hídricas, responsáveis pela morte de, aproximadamente, 80 mil crianças na América Latina (COELHO, 2013).

A poluição das águas genericamente decorre da adição de substâncias ou de formas de energia que alterem as características físicas e químicas diretamente ou indiretamente, de tal maneira que inviabilize a utilização das suas águas para usos benéficos (VERONEZ, 2011).

Por isso, o monitoramento da qualidade da água é uma ferramenta importante para avaliar o grau de poluição da água, ou seja, o grau de interferência de determinada substância no recurso hídrico. A presença de substâncias caracteriza as condições em que a água se encontra, para os mais variados usos, inclusive para sua utilização e preservação no meio ambiente. Por esse motivo, se faz necessário o estudo da qualidade da água para que se conheçam quais as consequências da atividade antrópica no recurso hídrico.

3.2 CRESCIMENTO URBANO EM BELÉM

Belém é uma cidade praticamente toda banhada por rios e igarapés, localiza-se numa península cercada ao sul pelo rio Guamá, a oeste pela baía do Guajará, ao norte pelo Furo do Maguari e a leste limita-se com o município de Ananindeua. Belém, juntamente com os municípios de Ananindeua, Benevides, Marituba e Santa Barbara constitui a Região Metropolitana de Belém (RMB) (FERREIRA, 1995).

A cidade possui uma área terrestre total de 505,83 km², sendo que a parte insular corresponde a 33,36% (173,78 km²) e a parte continental 33,36% (332,057 km²). Desse total, 48,38% (244,74 km²) é composto por áreas urbanizadas (BELÉM, 2001).

Belém, igualmente a outras cidades amazônicas, sempre teve uma grande ligação com o recurso hídrico, não foi por acaso que sua primeira fase de ocupação foi denominada de “Ribeirinha” (que ocorreu em meados do século XVIII), para posteriormente se interiorizar (Fase de Penetração- de meados do século XVIII até meados do século XIX) e depois se continentalizar (Fase de “Continentalização” que ocorreu a partir século XIX) (TRINDADE, 1997).

Sarges (2002) afirma que o ponto de partida da expansão territorial se deu através de uma fortificação militar com a função de defender a cidade contra possíveis invasões estrangeiras. Em 1627 foi doada pela coroa Portuguesa uma área de terra correspondente a 4.110 ha, que foi chamado de Primeira Légua Patrimonial (TRINDADE, 1997).

Ao final do século XVII, já era possível distinguir os dois núcleos iniciais da cidade, separados pelo igarapé do Pirí: o bairro Cidade (às margens do Rio Guamá) e Campina (as margens da Baía do Guajará). Nesse momento, já se observava a formação das primeiras

periferias e ocupação de terrenos alagados em terrenos de cota mais baixa voltadas para o rio Guamá e outras voltadas para a Baía do Guajará.

Esses núcleos só foram interligados no século XIX com o aterramento do igarapé do Piri. Esse fato ocorreu devido o grande aumento populacional na região por conta da expansão da atividade extrativista da borracha (CORRÊA, 1989). A fase áurea da borracha provocou uma elitização do espaço urbano, levando a população de baixo poder aquisitivo a ocupar “áreas de baixadas” (áreas situadas a uma cota inferior a 4m).

Na década de 50, a expansão da cidade se deu em direção às áreas de cotas mais elevadas. No entanto, esse crescimento era limitado pelo cinturão Institucional (áreas institucionais, que pertenciam à bases militares e instituições públicas).

Na década de 70, foi formada a *Segunda Léguas Patrimonial*, marcada pela ultrapassagem do Cinturão Institucional através da expansão da malha urbana para a rodovia Augusto Montenegro (eixo Belém-Icoaraci) e em direção a BR-316 e a Rodovia Mário Covas (eixo Belém-Ananindeua). Nessas áreas, foram construídos os primeiros conjuntos habitacionais apoiados pelo Sistema Financeiro de Habitação e pelo Banco Nacional de Habitação (TRINDADE, 1997).

A partir da década de 80 houve uma supervalorização dos terrenos de cotas mais altas, sendo esses ocupados pela população de maior poder aquisitivo, levando a população mais carente à construir habitações irregulares em terrenos de propriedade alheia (chamado de assentamento subnormal). Essas unidades habitacionais são dispostas de forma desordenada, sem a prestação de serviços públicos e sem a regularização ou título de propriedade (SILVA, 1997). Em Belém esses aglomerados foram chamados de “áreas de baixadas” (localizados em áreas alagadas) e “invasões” (localizados em terrenos que estão acima da cota de 4m). Essas habitações irregulares geraram grandes problemas sociais e a degradação das áreas ocupadas, principalmente nos terrenos alagados.

A ocupação da cidade de Belém de forma irregular e desordenada, desde o período colonial, gerou uma grande degradação dos recursos naturais da cidade: a floresta de terra firme e várzea sofreram uma grande devastação, vários cursos d’água foram aterrados, desviados e/ou poluídos; os solos e o subsolo ficaram comprometidos e as ilhas tiveram suas margens degradadas pela erosão (TRINDADE, 1997).

3.3 AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE BELÉM

As áreas de Belém se caracterizam de acordo com o nível máximo de maré. A cidade possui cota de alagamento de 3,70 metros acima do nível do mar, por esse motivo as duas áreas da cidade são chamadas de áreas altas (com cota acima de 4m) e áreas baixas (com cota abaixo de 4m) (SILVA, 2001). Essas áreas são drenadas por sistemas de canais naturais, que com o passar dos anos foram retificados (canais artificiais), com a finalidade de esgotar as águas de terrenos alagadiços, formando assim bacias de drenagem ou bacias hidrográficas.

Comportas foram instaladas em alguns canais com o objetivo de impedir o acesso direto das águas em período de cheias, já que esses sofrem grande influencia do Rio Guamá e da Baía do Guajará, assegurando assim o controle da elevação máxima dentro dos canais e a proteção dos terrenos mais baixos (BELÉM, 1985).

Com o tempo, uma grande parcela da população ocupou as áreas de entorno desses canais, construindo moradia (em geral do tipo “palafita”) sobre as áreas alagadiças ou sobre os próprios canais dessas bacias, seguindo o hábito tradicional e a cultura básica do antigo pescador que vive às margens dos grandes rios amazônicos (SOUZA, NASCIMENTO E LIMA, 2002).

Atualmente, essas áreas são densamente ocupadas, principalmente por pessoas de baixa renda, em assentamentos considerados subnormais, na maioria das vezes. Essa ocupação, segundo Lopes (2008), gera grandes problemas de ordem social e ambiental, como:

- a) A deficiência e/ou ausência de serviços públicos essenciais, principalmente de saneamento básico como abastecimento de água e coleta de esgoto e de resíduos, que não acompanham este processo de ocupação do solo, favorecendo a poluição avançada nos corpos hídricos;
- b) Degradação das águas dos corpos hídricos ocasionando a diminuição da vida aquática e a formação de zonas de detritos, favorecendo o assoreamento;
- c) A crescente degradação ambiental dos corpos hídricos gera um aumento nos casos de doenças de veiculação hídrica, interferindo diretamente na qualidade de vida dessas pessoas que residem nesses locais.

Na década de 40 foi realizado o primeiro levantamento aerofotográfico da cidade de Belém, o qual apresentou várias limitações para suas bacias hidrográficas. Posteriormente, no ano de 2000, essas bacias passaram por uma nova delimitação, influenciada pela Lei nº 9.433/97 (que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos), delimitando a cidade em 14

bacias hidrográficas: Paracuri, Cajé, Mata Fome, Val-de-Cans, Una, Reduto, Tamandaré, Estrada Nova, Tucunduba, Murutucu, Aurá, Anani, Pratiqura e Outeiro (MERCÊS, 1997).

Na Figura 01 são ilustradas a delimitação das bacias hidrográficas do município de Belém realizada pela SEGEP (2000), sem a bacia do Pratiqura.

Figura 1: Imagens aéreas da delimitação das bacias hidrográficas de Belém



3.4 A IMPORTÂNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO

Saneamento Básico consiste no conjunto de medidas que visa preservar todos os fatores do meio físico com o intuito de promover a saúde e melhorar a qualidade de vida da população. Esse serviço é um direito assegurado pela Constituição brasileira desde 2007,

através da Lei nº 11.445/2007. Essa lei define Saneamento como conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza e drenagem urbana e manejo de resíduos sólidos e águas pluviais (TRATABRASIL, 2015).

Segundo dados do Ministério das Cidades (2015), no Brasil cerca de 60 milhões de brasileiros (9,6 milhões de domicílios urbanos) não são atendidos pela rede de coleta de esgoto e, destes, aproximadamente 15 milhões (3,4 milhões de domicílios) não têm acesso à água encanada. No caso de Belém, 59,9% da população total são atendidas com rede de água e 27,2 % possuem rede coletora de esgoto (SNIS, 2013), sendo que grande parte desse esgoto coletado é despejado “*in natura*” nos corpos hídricos, sem nenhum tipo de tratamento.

A falta de saneamento básico, como a inexistência de abastecimento de água potável e coleta de esgoto sanitário, leva a centenas de milhares de casos de internação por diarreia todos os anos (400 mil casos registrados no ano de 2011) (TRATABRASIL, 2015). Além disso, mais de cinco milhões de pessoas morrem por ano no mundo devido de doenças de veiculação hídrica, causada pela carência nos serviços de saneamento (BRASIL, 2004). Agir de forma preventiva, contra a disseminação de doenças veiculadas por detritos na forma de esgotos e resíduos sólidos, é uma das principais funções do saneamento básico (CAVINATTO, 1992).

A descarga sem tratamento de esgoto domiciliar em rios, represas, estuários, mares e em canais de drenagem é um grave problema para a qualidade da água. Belém enfrenta esse problema em quase todos os canais de drenagem da cidade, inclusive no Canal São Joaquim.

A principal causa de degradação ambiental dos canais que compõem a cidade de Belém é o lançamento direto de esgoto sem tratamento, proveniente da ocupação desordenada na bacia, haja vista que eles recebem tanto águas pluviais como despejos domésticos e industriais, sendo incapazes de absorver toda carga orgânica que é lançada por diversas fontes.

Em Belém, a expansão da ocupação urbana induziu o deslocamento das pessoas (com menor poder aquisitivo) às áreas mais afastadas do centro urbano, locais esses ambientalmente desprotegidos, com carência nos serviços de saneamento, o que resulta na falta de controle dos resíduos gerados pelos seus próprios habitantes (PEREIRA, 2003).

O serviço de água e esgoto da cidade é fornecido pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA). Enquanto o gerenciamento de limpeza urbana e manejo dos resíduos

sólidos são de responsabilidade da Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN), por meio do Departamento de Resíduos Sólidos (DRES).

A Bacia do Una é a maior bacia hidrográfica de Belém e corresponde a 40% da área continental da cidade. Nessa bacia, localiza-se a sub-bacia do Canal São Joaquim, o maior canal urbano da cidade, sendo objeto de estudo dessa pesquisa. Os serviços básicos de saneamento na bacia iniciaram em 1992 e finalizado em 2005, atendendo 543.543 habitantes por meio de ações como: em instalação de micro e macrodrenagem, obras complementares de aterramento, pavimentação de vias, esgotamento sanitário, abastecimento de água, coleta e transporte de resíduos sólidos, além de educação ambiental. Esse projeto foi financiado Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e pelo Governo do Estado do Pará e foi considerado o mais significativo a nível latino americano (LOPES, 2008).

3.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AO CONTROLE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) foi instituído em 06 de Junho de 1991 pelo decreto 99.274, e teve como competência em seu artigo 8º; “VII – estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos”.

Em 1986 foi estabelecida a primeira resolução sobre controle de poluição hídrica, a Resolução CONAMA nº20/1986, que fixou pela primeira vez, padrões específicos de qualidade das águas para fins de balneabilidade ou recreação de contato primário e dividiu as águas do território nacional em águas doces (salinidade < 0,5%), salobras (salinidade entre 0,5% e 30%) e salinas (salinidade > 30%), em um total de nove classes.

Atento ao grande volume de poluentes recebidos nos mananciais, a resolução 20 passou por revisão e editou em 2005 a Resolução 357 em 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Esta resolução definiu a classificação das águas doces em três tipos:

- I. águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 %
- II. águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 % e inferior a 30 %
- III. águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 %

Essa Resolução define o “estabelecimento de uma meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento do corpo d’água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo” (CONAMA, 2005). A Tabela 1 apresenta as classes de enquadramento e respectivos usos possíveis para as águas doces.

Tabela 1: Classes de Qualidade da água Doce e seus usos preponderantes.

Classes de Qualidade	Usos Preponderantes
Classe Especial	-abastecimento para consumo humano, com desinfecção; -à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e -à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral
Classe 1	-ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; -à proteção das comunidades aquáticas; -à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274 DE 2000 -à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e -à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas
Classe 2	-ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; -à proteção das comunidades aquáticas; -à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274 de 2000 -à 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; e -à aquicultura e à atividade de pesca.
Classe 3	-ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; -à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; -à pesca amadora; -à recreação de contato secundário; e -à dessedentação de animais.
Classe 4	-à navegação; e -à harmonia paisagística

Fonte: CONAMA 357/2005.

A Tabela 2 apresenta os padrões de qualidade do corpo hídrico segundo os parâmetros utilizados nesse trabalho, associados à água classe 2, segundo a resolução CONAMA n.º 357/2005.

Tabela 2: Padrões de qualidade da água para águas doces classe 2.

Parâmetro	Unidade	Padrões para Águas Doces Classe II
Temperatura	°C	-
Turbidez	UNT	<100
Sólidos Totais	mg/L	500
pH	-	De 6,0 a 9,0
Oxigênio Dissolvido	mg/L de O ₂	≥5,0
DBO ₅	mg/L de O ₂	≤5,0
Nitrato	mg/L de N	10,0
Nitrito	mg/L de N	1
Nitrogênio Amoniacal	mg/L de N	3,7 para pH ≤ 7,5 2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 Para pH 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 para pH > 8,5
Fósforo Total	mg/L P	0,10 mg/L em ambientes intermediários
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	2000

Fonte: CONAMA 357/2005.

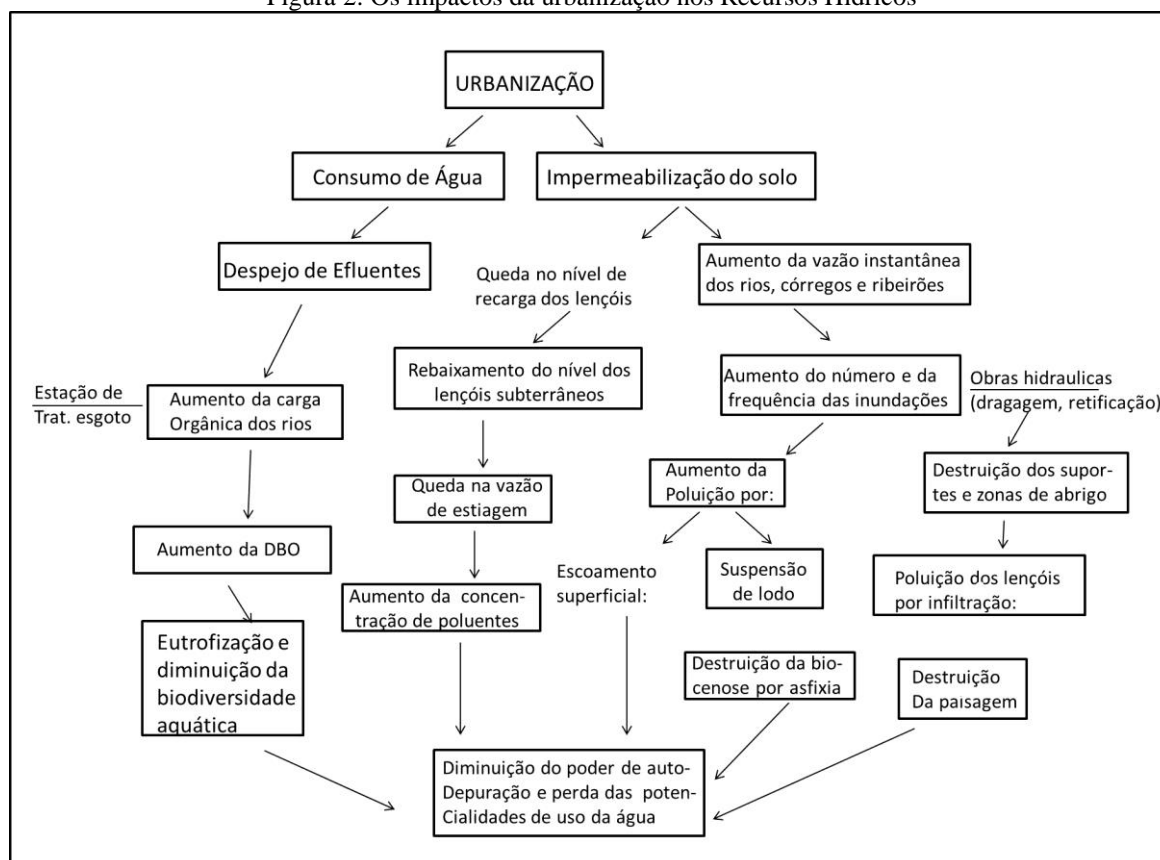
3.6 A URBANIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS

Globalmente, a urbanização, a intensificação da agricultura e desmatamento são as principais forças de intervenção no uso da terra que causam a degradação dos recursos hídricos. Dessas forças, a urbanização é considerada a de maior impacto, pois altera o ciclo hidrológico e ainda compromete os processos químicos e biológicos dos ecossistemas aquáticos. (ANDRADE et al., 2008).

Muitos estudos têm comprovado que a conversão do uso do solo e a remoção da cobertura vegetal provocados pelo processo de urbanização geram a degradação da qualidade da água. Vargas (1999) afirma que a remoção da cobertura vegetal reduz o tempo de concentração da chuva, diminui a evapotranspiração e a retenção de água nas bacias de drenagem, e aumenta o pico das cheias. Além disso, também agrava os processos erosivos e o comportamento do clima e das chuvas nas microbacias. Todos esses aspectos influenciam diretamente no ciclo hidrológico da bacia, pois com a substituição da cobertura vegetal por impermeabilização com edificações e pavimentos e a introdução de condutos para escoamento pluvial, grandes alterações podem ser observadas.

Para Vargas (1999) os principais impactos nos recursos hídricos provocados pela urbanização são: produção de esgoto (devido aumento no consumo de água- pois há um aumento do número de habitantes), aumento da carga orgânica nos rios; o aumento do escoamento superficial, redução da evapotranspiração, redução da infiltração no solo, rebaixamento do lençol freático, aumento da produção de material sólido proveniente de limpeza de ruas e da armazenagem inadequada do lixo pela população. Todos esses processos diminuem o poder de autodepuração dos rios e a perda das potencialidades de uso da água, conforme ilustrado na Figura 02.

Figura 2: Os impactos da urbanização nos Recursos Hídricos



Fonte: Adaptado de Vargas, 1999.

No caso das matas ciliares, que margeiam represas, rios, córregos e ribeirões, sua remoção provoca a erosão das margens e o assoreamento dos corpos d'água superficiais, implicando o aumento de inundações e a diminuição da qualidade (via aumento da poluição por sedimentos) e da quantidade de água disponível nos mananciais (VARGAS, 1999)

Braud *et. al.* (2013) afirma que a construção de estruturas artificiais, como redes rodoviárias, rede de água potável e águas pluviais ou redes de esgoto geram um impacto sobre os ecossistemas aquáticos devido à poluição difusa através da lavagem das superfícies

urbanizadas e uma modificação dos caminhos naturais de água. Isso pode levar a enchentes, a erosão e desequilíbrio da vida aquática dentro de rios que circundam as cidades.

Tucci e Mendes (2006) destacam outros impactos causados pela urbanização e que afetam diretamente os ecossistemas aquáticos, a exemplo, a produção de sedimentos devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas que trazem como consequência: (a) assoreamento das seções da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos (Figura 3); (b) transporte de poluente agregado ao sedimento, que contaminam as águas pluviais. Além disso, a produção desenfreada de resíduos sólidos e a destinação destes em locais inadequados, como às margens de rios e córregos (Figura 4), provoca uma maior obstrução na drenagem e cria condições ambientais ainda piores. Esse problema somente é minimizado com adequada frequência da coleta, educação da população e penalidades para depósito e lançamento de lixo irregular.

Figura 3: Assoreamento observado na seção do canal São Joaquim



Fonte: Autora, 2015.

Figura 4: Resíduos sólidos observados nas margens e dentro do canal São Joaquim.



Fonte: Autora, 2014.

Tucci (2012) cita alguns dos principais riscos à saúde causados pelo desenvolvimento urbano sem controle:

- (a) falta de tratamento de efluente e serviços de coleta e a disposição de resíduos sólidos produz uma fonte de contaminação interna na cidade que ajuda a propagar doenças ou epidemias;
- (b) contaminação das fontes de água como reservatórios por nutrientes, permitindo o desenvolvimento de algas e a toxicidade no abastecimento;
- (c) doenças que se propagam por falta de higiene e por meio da água, como dengue, leptospirose, diarreia, hepatite e cólera, entre outras.

A alteração no ciclo hidrológico, o desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos e o comprometimento da qualidade de vida da população, só ocorre porque em sua maioria, o desenvolvimento urbano não acontece de forma planejada e regular, tendo como consequência a própria bacia hidrográfica urbana sofrendo com os impactos causados pela ação antrópica desenfreada.

3.7 INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTAIS

Indicadores, segundo Santos (2004), são parâmetros, ou funções derivadas deles, que tem a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um meio.

Para Maranhão (2007), os indicadores são tão variados quanto aos fenômenos, processos e fatos que eles monitoram e provêm de diferentes fontes e tem três funções

básicas-quantificação, simplificação de informação e comunicação -contribuindo, deste modo, para a percepção dos progressos alcançados e o despertar da consciência da população.

No contexto ambiental o indicador é constituído por um conjunto de parâmetros representativos, concisos e fáceis de interpretar, utilizados para ilustrar as principais características ambientais do território, o conjunto de indicadores bem definidos é extremamente importante para a identificação e avaliação dos problemas ambientais (TUCCI E MENDES, 2006).

Os índices apresentam-se como o estado de um sistema ou fenômeno, que consideram as interações entre os elementos (SHIELDS et. al, 2002). Além disso, representam o contexto observado de uma forma simples, podendo ajudar a comunidade na definição de metas de melhoria efetiva e também servem como importantes ferramentas para monitorar o cumprimento dos objetivos planejados (SCIPIONE et. al, 2009).

Os índices são constituídos pela composição ou agregação de um ou mais indicadores, mediante diversos tipos de formulações matemáticas ou regras heurísticas. Pressupõem sempre a padronização face à uma escala convencional. Os indicadores são variáveis ou parâmetros ambientais, medidos direta ou indiretamente, representando de forma significativa o sistema ou fenômeno ambiental em estudo (MELO, 1996). As principais vantagens dos índices, segundo CETESB (2014), são as facilidades de comunicação com o público leigo, o status maior do que as variáveis isoladas e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade.

Considerando o sistema hídrico e sua sustentabilidade, para entender os seus fenômenos característicos é possível lançar mão de indicadores e índices, onde os mesmos irão apresentar uma realidade encontrada, para entender como eles funcionam é necessário entender o seu processo de criação, ilustrado abaixo como pirâmide de informações na Figura 5, segundo Shields *et al* (2002):

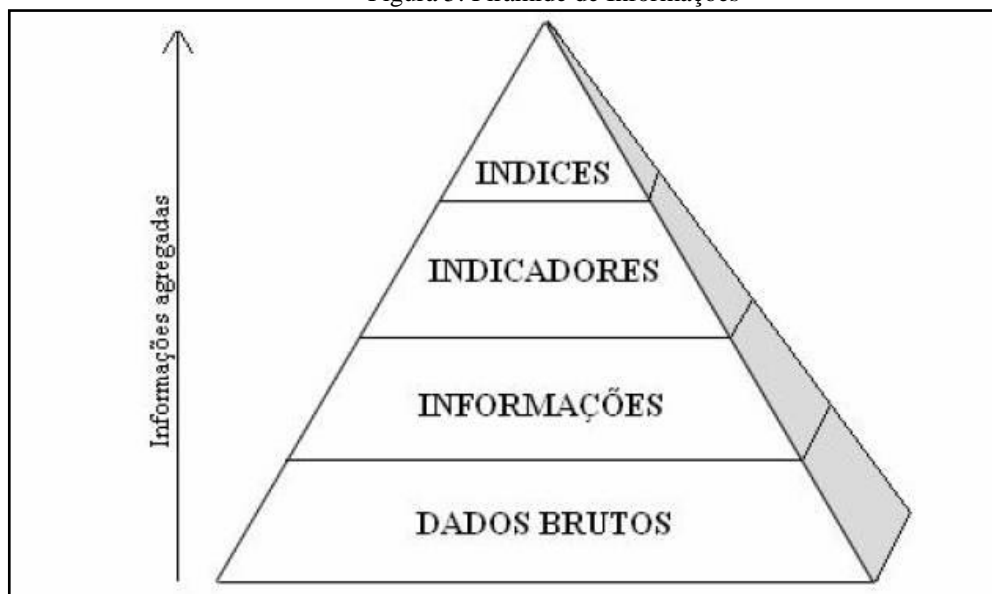
i) O início do processo de criação de um indicador se dá com a observação de um fenômeno e do máximo de suas características.

ii) O segundo passo é gerar dados brutos sobre esse fenômeno (dados primários) que podem ser trabalhados e tabulados dando origem aos primeiros dados tratados (informações).

iii) A partir disso, já se tem um estoque de informações para os mais diferentes estudos, portanto a próxima etapa é identificar quais informações são necessárias para análise em determinado enfoque.

iv) Com as informações *ad hoc*, eles são novamente tratadas estatisticamente e agregadas dando origem aos indicadores, que a partir de um novo processo de agregação dão origem aos índices. Portanto os índices são o topo da pirâmide da informação.

Figura 5: Pirâmide de Informações



Fonte: Shields et al, 2002.

3.8 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

Os índices de qualidade da água são bastante úteis para transmitir informação a respeito da qualidade da água ao público em geral, podendo dar uma idéia da tendência de evolução deste ao longo do tempo, permitindo comparação entre diferentes cursos d'água. Os índices de qualidade da água estão associados ao uso que se deseja para um copo d'água (CETESB, 2014).

A avaliação da qualidade da água com base nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos é fundamental para determinar as características mais adequadas para seus usos múltiplos. Para isso, ao longo dos anos foram desenvolvidos vários índices e indicadores ambientais para a melhor avaliação da qualidade da água. Medeiros (2012) fez um breve histórico sobre o desenvolvimento e aprimoramento dos índices que medem a qualidade da água até chegar ao mais utilizado atualmente- o IQA- desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF). São eles:

- Índice Sapróbio: que visa estimar o nível de matéria orgânica facilmente degradável em águas correntes;

- Índices numéricos: cálculos matemáticos baseados na técnica Delphi para classificar e avaliar a qualidade das águas envolvendo as variáveis físicas, químicas e biológicas.

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi desenvolvido em 1970 e 1971 por Brown et al e Deining e Macinuas, com o apoio da National Sanitation Foundation (NSF) dos EUA. Esse método foi desenvolvido com base nos índices numéricos, porém em versão melhorada.

Para a criação do IQA, a partir de uma metodologia DELPHI, foi estruturada a opinião de um grupo de 142 profissionais da área de qualidade da água, que indicaram as variáveis a serem avaliadas, o peso relativo e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores “rating” (CETESB, 2014). Das 35 variáveis indicadoras de qualidade de água inicialmente propostos, somente 09 foram selecionados: coliformes termotolerantes (CT), potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), temperatura (T), fosfato (PO₄⁻³), sólidos totais dissolvidos (STD), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Tu) e nitrato (NO₃).

Definidas as variáveis integrantes do IQA e os respectivos pesos, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro. As nove curvas utilizadas para o cálculo do IQA constituíram-se das curvas médias obtidas das respostas de todos os pesquisadores participantes (LIBÂNIO, 2008).

O IQA desenvolvido pela NSF dos EUA passou a ser utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a partir de 1975. Para que o índice se adequasse às características naturais dos corpos hídricos do Brasil algumas adaptações foram feitas, como a substituição do nitrato por nitrogênio total, sólidos totais dissolvidos por resíduo total e do fosfato por fósforo total. Nas décadas seguintes, outros Estados brasileiros (Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Paraíba, Pernambuco, Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul) adotaram o IQA, que hoje é o índice de qualidade da água utilizado no Brasil e que refletem principalmente a contaminação dos corpos hídricos ocasionados pelo lançamento de esgotos domésticos e industriais (ANA, 2014).

Para Bollmann & Marques (2000), o problema mais significativo apresentado na utilização do IQA é que o destino da água é diversificado, prevendo usos múltiplos. Em geral, para cada uso, podem ser elencados padrões individuais de qualidade provocando o surgimento de escalas de valores diferenciadas para uma mesma variável ambiental. Assim, o que se deve fazer é cuidar para que o indicador seja aplicado para os fins aos quais ele foi criado, analisando-o detalhadamente e interpretando adequadamente seus resultados.

Com vistas ao aperfeiçoamento da avaliação ambiental, a CETESB iniciou a partir de 1998, o desenvolvimento de outros índices de qualidade da água (CETES, 2014):

- Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de abastecimento Público (IAP);
- Índice de Estado Trófico (IET);
- Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA);
- Índice de Comunidade Fitoplanctônica (ICF);
- Índice da Comunidade Bêntonia (ICB);
- Índice de Balneabilidade.

O IQA adaptado pela CETESB é composto por nove parâmetros com seus respectivos pesos (w), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água conforme apresentado na Tabela 3 abaixo.

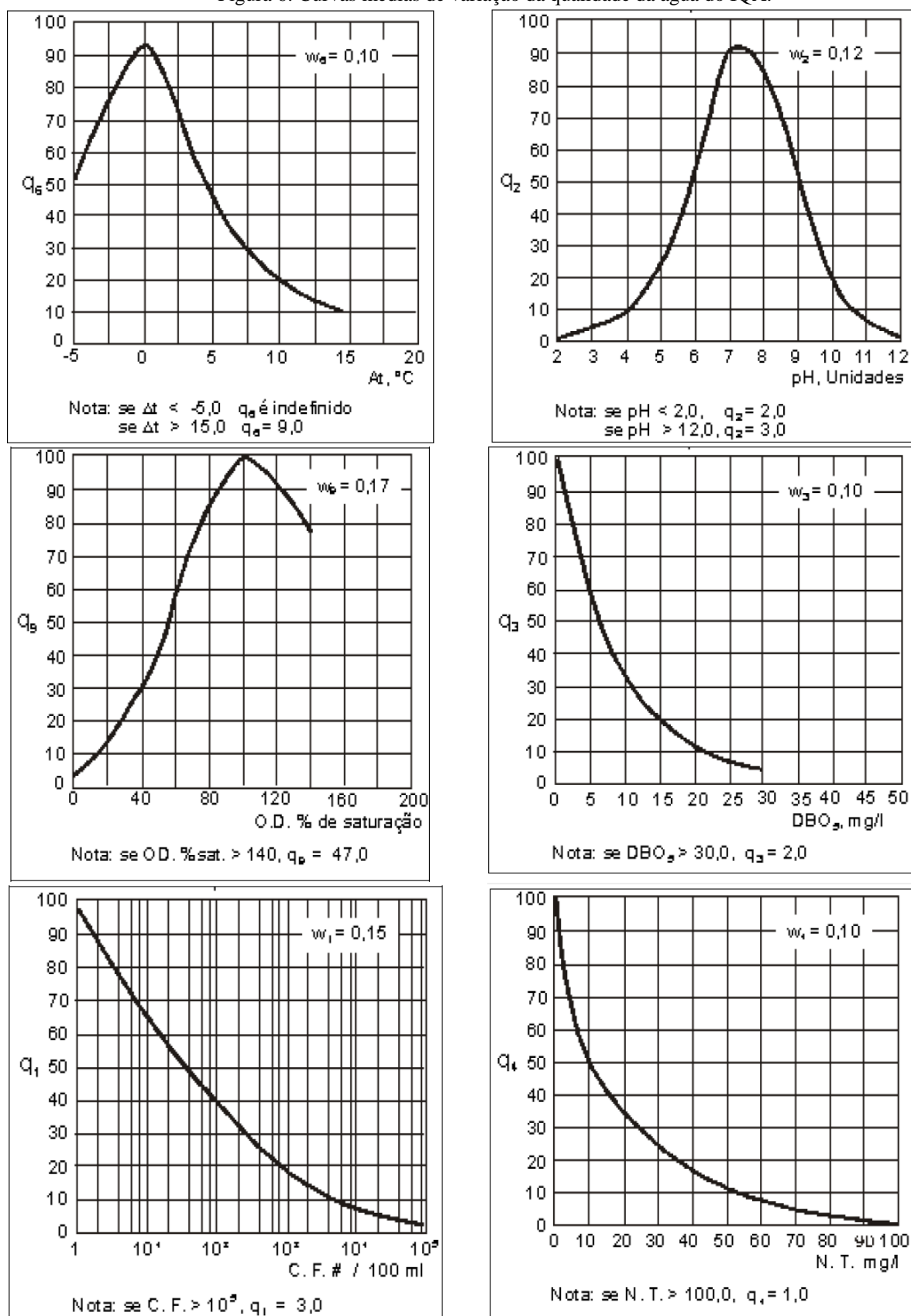
Tabela 3 - Pesos relativos de cada variável do IQA.

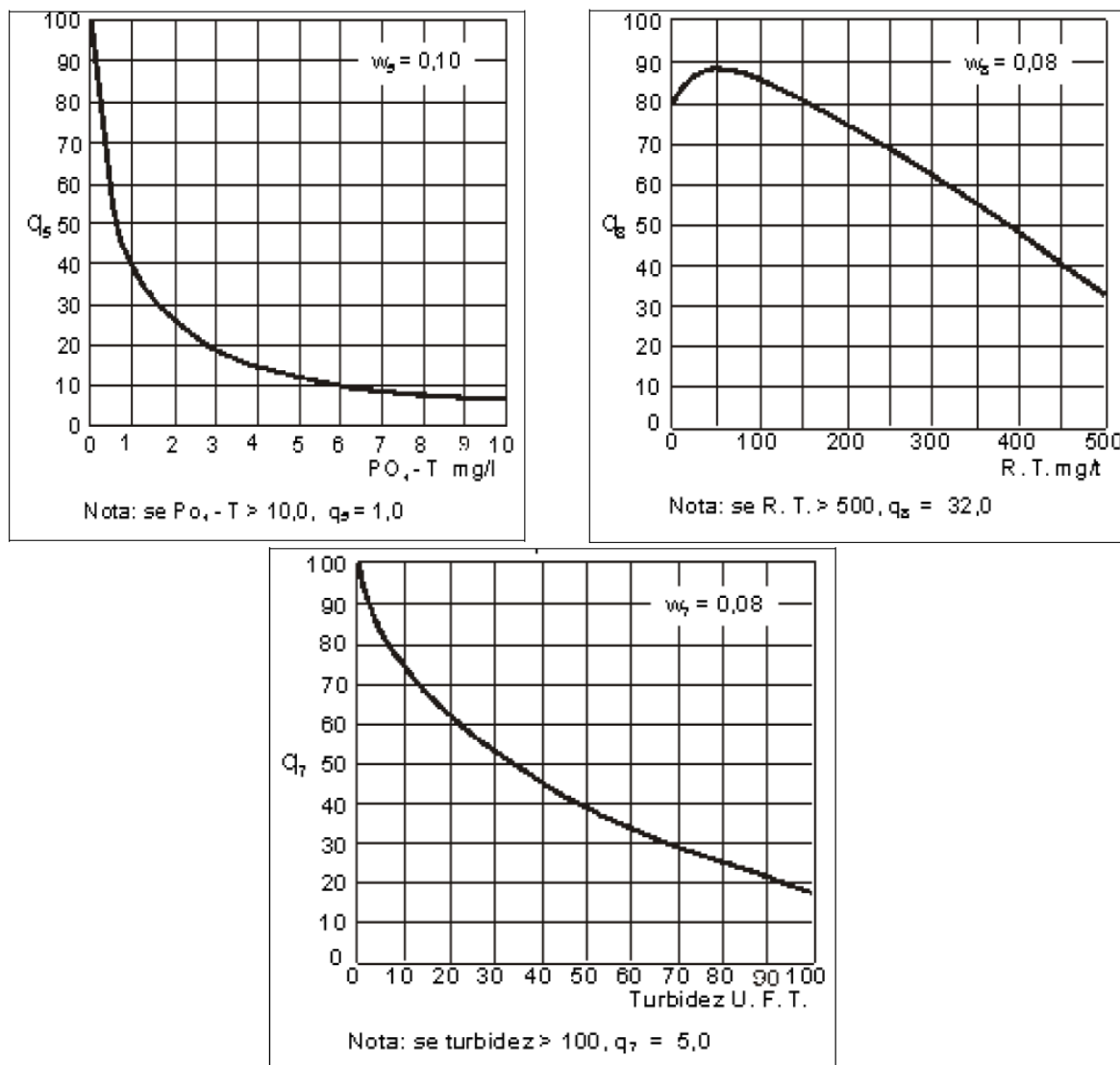
PARÂMETRO	Unidade	Peso no IQA (w)
Oxigênio Dissolvido	(% OD)	0,17
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	0,15
Ph	-	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	(mg/L)	0,10
Nitrogênio Total	(mg/L)	0,10
Fósforo Total	(mg/L)	0,10
Turbidez	UNT	0,08
Resíduos Totais	mg/L	0,08
Temperatura	°C	0,10
Somatório		1 OU 100%

Fonte: Adaptado de Portal PNQA-ANA, 2014.

Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida como apresentado na Figura 6.

Figura 6: Curvas médias de variação da qualidade da água do IQA.





Fonte: NSF, 2014

Segundo Lima et al. (2003), o IQA estabelece níveis e padrões de qualidade que possibilita a classificação das águas em classe, determinadas pelo resultado encontrado em seu cálculo. O IQA é uma forma empírica utilizada para dar respostas sobre a qualidade das águas através de uma escala entre 0 e 100, sendo que quanto mais elevado este número, melhor a qualidade das águas (BABAEI *et al*, 2011).

Comitesinos (1990) afirma que devido a simplicidade quanto a forma de apresentação, o IQA permite uma fácil interpretação, por parte da comunidade usuária do manancial, dos resultados relevantes obtidos através da rede de monitoramento.

A maneira convencional para se obter o IQA é calcular o produtório ponderado das variáveis pré-definidas, normalizadas numa escala de 0 a 100 e multiplicadas pelos seus respectivos pesos, segundo a Equação 01:

$$IQA = \prod_{i=1}^N q_i^{w_i} \quad (01)$$

Em que:

IQA = Índice de Qualidade das Águas (numa escala entre 0 e 100);

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1 segundo a Equação 2:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (02)$$

sendo n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

O cálculo do IQA torna-se inviável caso não se disponha de algum dos valores para qualquer um dos 9 parâmetros.

A interpretação do valor do IQA é realizada dentro de valores que variam de 0 a 100 com faixas de classificação especificadas de acordo com a categoria e a ponderação: péssima, ruim, regular, boa e ótima (Tabela 4).

Tabela 4 - Faixa de valores de IQA

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Fonte: Adaptado de Portal PNQA-ANA, 2014.

Racanicchi (2002) fez um detalhamento das categorias que classificam a qualidade da água segundo a metodologia do IQA em:

a) Ótima

A água apresenta característica ótima quando o valor de IQA varia entre 80 a 100. Isto ocorre quando as águas se mantêm em condições naturais, não sofrendo processos de

degradação e apresentando condições excelentes para manutenção do ecossistema aquático, abastecimento público e produção de alimentos.

b) Boa

A água apresenta característica Boa quando o valor de IQA varia entre 52 a 79. Estas são águas encontradas em rios que se mantêm em condições naturais, embora possam receber, em alguns pontos, pequenas ações de degradação, mas que não comprometem a qualidade da água para a manutenção da vida aquática, abastecimento público e produção de alimentos.

c) Regular

Águas com qualidade Regular, o IQA varia entre 37 a 51. Estas são águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências e degradação, mas ainda podem ser utilizadas tanto para abastecimento público, após tratamentos físico-químicos e biológicos, como para a manutenção da biologia aquática e produção de alimentos.

d) Ruim

Águas com qualidade Ruim, o IQA varia entre 20 a 36. São águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências e degradação, servindo apenas para navegação e geração de energia.

e) Péssima

Água com qualidade Péssima, o IQA varia entre 0 a 19. São águas encontradas em rios que sofrem graves interferências e degradação, comprometendo a qualidade da água para diversos usos, servindo apenas para navegação e geração de energia.

A formulação desse índice objetiva a interpretação das informações de qualidade da água para especialistas ou não. Deste modo um índice de qualidade é um número sem unidade que atribui um valor de qualidade para um conjunto total de parâmetros medidos (PESCE & WUNDERLIN, 2000).

Silva & Jardim (2006) enfatizam que a elaboração de um índice de qualidade das águas pode ser simplificada ao levar em consideração somente as variáveis ambientais críticas que afetam determinado corpo hídrico em um determinado momento. Assim, um índice de qualidade da água está destinado a ser uma ferramenta simples e compreensível para os gerentes e tomadores de decisão sobre a qualidade e os usos possíveis de um determinado corpo d'água (BORDALO *et al.*, 2001).

Os Índices de qualidade da água vêm sendo analisados, testados, avaliados e/ou usados por diversos autores, sob diversas formas e abordagens. Dentre eles podemos citar:

- a) Estudo realizado por Lemos (2003) na bacia hidrográfica do rio Maquiné, região pertencente à bacia hidrográfica do rio Tramandaí, inserida na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado do Rio Grande do Sul, em que o IQA foi utilizado para avaliar a qualidade da água para consumo Humano, apresentando a água com qualidade variando entre boa a ótima e destacando as variáveis Coliformes fecais, DBO, Fosfato Total e sólidos totais como os principais responsáveis pela perda na qualidade da água. Essa bacia apesar de estar inserida em uma reserva ambiental, mostrou que sofre grande influência antrópica de atividade agrícola, criação de animais e falta de saneamento básico.
- b) Estudo realizado por Moretto (2011) avaliou a qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Pardo, Rio Grande do Sul através do IQA e da Resolução 357/2005 do CONAMA. O estudo propôs a calibração do IQA (através da técnica de Análise de Componentes principais para revisar o valor dos pesos das variáveis fosfato e coliformes termotolerantes) para que refletisse de maneira precisa a qualidade da água em comparação à classificação da Resolução do CONAMA. Após utilizar os novos pesos (tendo como base o programa IQAData), o cálculo do IQA foi refeito e compararam-se os novos resultados com a Resolução CONAMA, constatando-se dessa maneira que a qualidade da água do Rio Pardo encontra-se prejudicada pelo lançamento de esgotos sanitários, aporte de dejetos de animais e carreamento de fertilizantes, apresentando condições de eutrofização ao longo do corpo hídrico. A adequação de novos pesos para o IQA do Rio Pardo apresentou-se de forma eficiente ao comparar os resultados com a resolução 357/2005 do CONAMA.
- c) Siqueira *et al* (2012) calcularam o IQA para avaliar a qualidade da água do rio Parauapebas. As análises das variáveis que compoem o índice foram realizadas em 20 pontos de amostragem, nos períodos de baixa precipitação dos anos de 2004, 2007 e 2009. O IQA obtido para o rio foi igual a 40, o que o enquadrou na categoria “Regular”, levando a considerar que a qualidade da água do rio foi comprometida pela expansão urbana nas direções N-NO e S-SO, atingindo as áreas próximas às reservas de mata ciliar.
- d) Estudo desenvolvido por Medeiros (2012) nos rios Murucupi (município de Abaetetuba, PA) e Arapiranga (município de Barcarena, PA) visou avaliar a qualidade da água através do IQA. O trabalho teve duração de 01 ano, em quatro campanhas trimestrais, envolvendo os períodos chuvoso e seco. O objetivo do trabalho foi comparar a qualidade dos dois rios. Para uma melhor avaliação, foram aplicados sobre as variáveis e IQA's obtidos, a estatística descritiva (valores médios, máximos, mínimos, desvio padrão e coeficiente de correlação nos períodos seco e chuvoso). O rio Arapiranga apresentou condições de qualidade

regular e boa, enquanto que o rio Murucupi ruim, regular e boa. Com base na avaliação estatística dos dados obtidos, observou-se que o rio Arapiranga sofre mais impactos de ação antropogênica quando comparados ao rio Murucupi.

e) Rego (2012) avaliou o uso da água na bacia hidrográfica de Rondon do Pará-PA, um dos municípios com maior índice de desmatamento no Brasil. A pesquisa contou com estudo de caso, e com a técnica de mapas mentais para avaliar se o uso da água na Região caminha para a sustentabilidade. O trabalho baseou-se na Teoria Geral dos Sistemas e no Desenvolvimento Sustentável e gerou indicadores socioeconômicos e ambientais, com destaque para o Índice de Qualidade da Água (IQA). Os resultados mostraram que o Município cresceu de forma acelerada devido o desenvolvimento da atividade pecuária, o que refletiu negativamente nos recursos hídricos. Os Rios Pebas e Ararandeuá sofriam com despejos de efluentes industriais no trecho que corta a cidade e apresentaram qualidade Ruim em muitos pontos identificadas através do IQA. A conclusão do trabalho apontou o uso da água no Município de Rondon do Pará caminhando para a insustentabilidade, onde a principal necessidade local era uma integração da gestão ambiental e de recursos hídricos.

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Programas de monitoramento de qualidade da água são largamente utilizados para avaliar a dinâmica de uma bacia hidrográfica. No entanto o conjunto de dados obtidos nesse monitoramento possui informações de diversas variáveis de qualidade da água, medidos em diferentes escalas e unidades, sendo necessário o emprego de técnicas que apresentem os resultados mais claros e objetivos possíveis. Deste modo, o emprego da análise estatística é utilizado para organizar, descrever, analisar e interpretar esses dados (MOURA *et al.*,2010).

A estatística descritiva é a etapa inicial da análise utilizada para descrever e resumir os dados, ela é fundamental para sintetizar e dar uma visão geral da distribuição desses dados, porém com a disponibilidade de uma grande quantidade de dados e de métodos computacionais muito eficientes, essa estatística clássica tem dado lugar à programas estatísticos mais completos, que tem como finalidade analisar facilmente uma grande quantidade de dados complexos.

Essas técnicas computacionais vêm cumprindo o papel de reduzir essa grande quantidade de dados sem a perda da informação, bem como o estudo da associação e correlação entre as variáveis. Uma das diversas técnicas de análise de dados é a Análise

Multivariada, que corresponde a um grupo de técnicas estatísticas que buscam relacionar as variáveis pesquisadas (MOURA *et al*, 2010).

Segundo Mardia, Kent e Bibby (1979), em geral, se há n observações, o_1, \dots, o_n e p variáveis, x_1, \dots, x_p , os dados contém “ np ” peças de informação. Isto pode ser convenientemente representado utilizando-se uma matriz de dados ($n \times p$), onde cada linha corresponde às variáveis e cada coluna corresponde a uma observação. Geralmente a matriz de dados pode ser escrita do seguinte modo conforme Figura 7 abaixo:

Figura 7: Exemplo de matriz de dados

		x_1	...	x_j	...	x_p	→ variáveis
	o_1	x_{11}	...	x_{1j}	...	x_{1p}	
	⋮	⋮		⋮		⋮	
	o_i	x_{i1}	...	x_{ij}	...	x_{ip}	
	⋮	⋮		⋮		⋮	
observações ←	o_n	x_{n1}	...	x_{nj}	...	x_{np}	

Fonte: França (2009)

De acordo com Hair Jr *et al.* (2005), o caráter multivariado consiste nas múltiplas variáveis estatísticas (combinações múltiplas de variáveis) e não apenas no número de variáveis e observações. Assim, para uma amostra ser considerada realmente multivariada, todas as variáveis devem ser variáveis aleatórias que se inter-relacionam de tal modo que seus diferentes efeitos não podem ser interpretados separadamente.

Segundo Mingoti (2005), a estatística Multivariada se divide em dois grupos: um primeiro, que consiste em técnicas exploratórias de sintetização da estrutura de variabilidade dos dados (abrangendo os métodos de análise de componente principal, análise fatorial, análise de correlação canônica, análise de agrupamento, análise de discriminante e análise de correspondência) e o segundo que consiste em técnicas de inferência estatística (abrangendo os métodos de estimação de parâmetros, testes de hipóteses, análise de variância, de covariância e de regressão multivariadas).

Na avaliação de dados de monitoramento ambiental, a técnicas de estatística multivariada de Análise da Componente Principal vem sendo empregada com muita frequência (ANDRADE *et al.*, 2007).

3.8.1 Análise de Componentes Principais

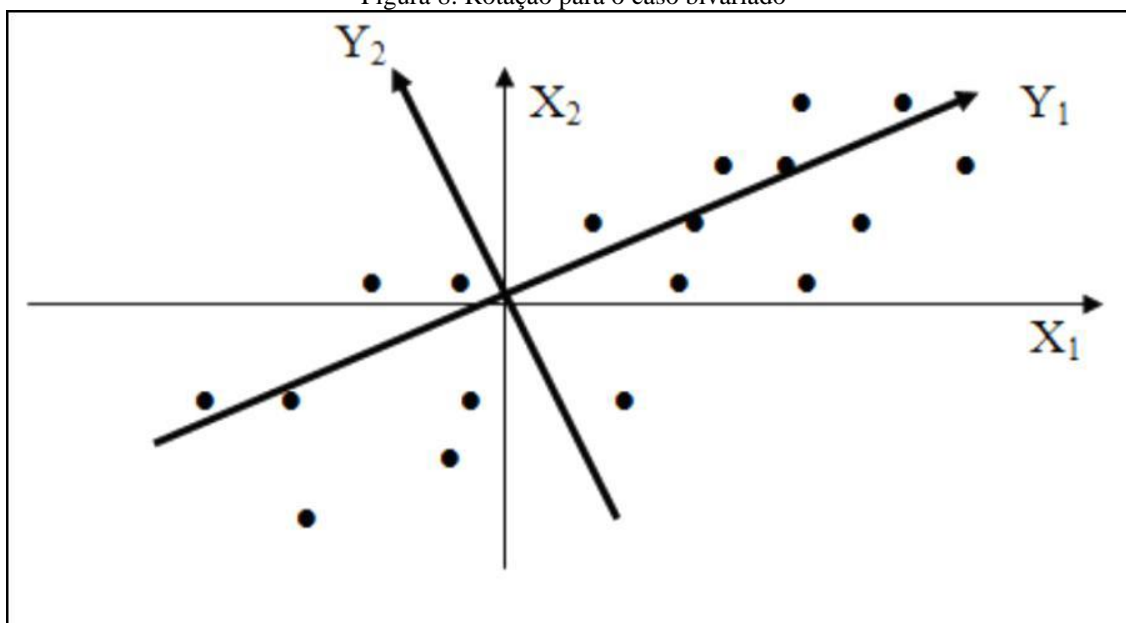
O método das componentes principais permite a redução da dimensão de dados, facilitando a extração de informações que serão de grande relevância na avaliação da qualidade das águas e no manejo da bacia (ANDRADE *et al*, 2007).

A Análise de Componente Principal segundo Moura *et. al.* (2010) é uma técnica usada para reduzir a dimensão de problemas multivariados e detectar os parâmetros mais significativos que descrevam o conjunto de dados com a mínima perda dos dados originais.

Na análise de componentes principais (ACP), as componentes principais (PC) são vetores formados das combinações lineares das variáveis originais, ortogonais entre si e resultantes de agrupamento das variáveis ou amostras altamente correlacionadas num espaço multidimensional.

Geometricamente, as combinações lineares das variáveis originais representam a seleção de um novo sistema de coordenada obtido pela rotação do sistema original com coordenadas X_1, X_2, \dots, X_p . Os novos eixos Y_1, Y_2, \dots, Y_p representam a direção com variabilidade máxima e permite uma interpretação mais simples da estrutura da matriz de covariância (JOHONSON & WICHERN, 1998). A título de exemplo, verifica-se na Figura 8 como fica rotação para o caso bivariado ($p=2$).

Figura 8: Rotação para o caso bivariado



Fonte: Reimann et al, 2008

De modo geral, os principais objetivos da análise de componentes principais são reduzir o número de variáveis, melhorar a interpretação e analisar quais variáveis ou

conjuntos de variáveis explicam a maior parte da variabilidade total, revelando que tipo de relacionamento existe entre elas.

A ACP fornece tantos Componentes quanto for o número de variáveis se existem p variáveis, então existirão no máximo p Componentes Principais (REIMANN *et. al.*, 2008). O primeiro Componente Principal (CP1) é a combinação linear das variáveis X_1, X_2, X_3 , etc que exhibe a variância máxima, ou seja, explica o máximo possível de informações contidas em X_1, X_2, X_3 , etc via uma combinação linear. O segundo CP (CP2) tem que ser ortogonal (perpendicular) ao CP₁ e explica o máximo da quantidade de variância restante, após a extração de CP₁. Os CPs subsequentes seguem o mesmo princípio: devem ser ortogonais ao CP anterior e devem conter o máximo da variabilidade remanescente até que o número de componentes principais seja no máximo igual ao número de variáveis, conforme Equação 03.

$$VAR CP_1 > VAR CP_2 > \dots > VAR CP_n \quad (03)$$

As informações mais relevantes ficam concentradas nas primeiras componentes, fazendo com que as primeiras componentes principais sejam suficientes para descrever o sistema, possibilitando que seja facilmente interpretado. As componentes principais que apresentam autovalor maior que 1 é que são consideradas suficientes para descrever o sistema (ANDRADE *et al*, 2007).

Segundo Vicini (2005), para aplicar a análise de componentes principais, deve-se seguir algumas etapas até obter-se o resultado final.

O primeiro procedimento a ser realizado é a análise descritiva das variáveis com a obtenção de média aritmética, somatório, somatório ao quadrado, variância amostral e desvio padrão amostral das variáveis sendo que os resultados obtidos serão utilizados na análise subsequente para a construção da matriz de covariância (S) ou matriz de correlação (R).

Ainda segundo Vicini (2005), ACP é realizada a partir da matriz de correlação quando as unidades e escalas de mensuração são diferentes e no caso de uma variável apresentar valores muito discrepantes. Outro modo equivalente para solucionar este problema é, por exemplo, primeiramente padronizar ou normalizar os dados (média = 0, variância = 1), conforme Equação 04 e então realizar a análise a partir da matriz de covariância.

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j} \quad (04)$$

Em que:

Z_{ij} = dados padronizados

X_{ij} = dados contidos em uma coluna da matriz original

\bar{X}_j = média dos dados

S_i = desvio padrão

Calcula-se a matriz de covariância (S) ou a matriz de correlação (R), e verifica-se a correlação das variáveis entre si, conforme a Figura 9 e Equação 05.

Figura 9: Exemplo de uma Matriz

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{1p} \\ r_{12} & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & r_{2p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{1p} & r_{2p} & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix}$$

Fonte: Vicini, 2005.

$$r_{jj'} = r(X_j, X_{j'}) = \text{Cov}(Z_j, Z_{j'}) = \frac{\text{Cov}(X_j, X_{j'})}{\sqrt{\text{Var}(X_j) \times \text{Var}(X_{j'})}} \quad (05)$$

Além disso, é necessário adotar uma medida de adequação dos dados, (sugerida por Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Adequacy- KMO). O KMO serve para avaliar o valor de entrada das variáveis para o modelo, sendo que seu valor possibilita prover resultados no alcance de 0,5 a 0,9, se se obtiver valores nesse intervalo, então as variáveis podem ser utilizadas para realizar a análise.

Na etapa seguinte, decide-se pelo número total de componentes que melhor explicarão o conjunto de variáveis originais, mediante os autovalores (Equação 06) pelo critério sugerido por Kaiser (1960) apud Mardia (1979), que consiste em incluir somente aquelas componentes cujos valores próprios sejam superiores a 1. Este critério tende a incluir poucas componentes quando o número de variáveis originais é inferior a vinte e, em geral, utiliza-se aquelas componentes que conseguem sintetizar uma variância acumulada em torno de 60%.

$$|S - \hat{\Lambda}| = 0 \quad (06)$$

Em que:

S= Matriz de dados originiais e/ou padronizados

Λ = autovalor

I= Matriz identidade

Decidido o número de componentes, passa-se a encontrar os autovetores que irão compor as combinações lineares, que irão formar as novas variáveis, conforme Equação 07:

$$|S - \widehat{\Lambda}I|\overline{X}_1 = 0 \quad (07)$$

Em que:

S= Matriz de dados originiais e/ou padronizados

Λ = autovalor

I= Matriz identidade

X_1 = autovetor

A última etapa consiste na normalização e a e rotação dos autovetores, para garantir solução única as componentes principais. Existem várias rotações que podem ser utilizadas para a matriz fatorial, varimax, quartimax e equimax. A rotação *varimax rotation* é a mais utilizada e busca minimizar o número de variáveis com altas cargas num fator, ou seja, maximiza a variância da carga (VICINI, 2005).

Métodos de análise multivariada podem ser aplicados para auxiliar a interpretação de dados obtidos na análise de águas. Vários trabalhos que envolvem análise de qualidade da água utilizam análise multivariada como a melhor ferramenta para esclarecer e avaliar a variabilidade dos dados.

a) Andrade et al (2007) utilizaram ACP para avaliar o impacto ambiental na Bacia do Baixo Acaraú através da análise de 25 variáveis físico-químicos e bacteriológicos. O emprego da ACP foi utilizado para avaliar o modelo de melhor ajuste que expressasse a qualidade das águas na Bacia do Baixo Acaraú. Foram extraídos 4 componentes principais que juntos explicaram 82,1% da variância total. O primeiro fator representou a componente de sólidos em suspensão, o segundo, representou nutrientes associados aos esgotos sanitários, o terceiro, componentes orgânicos indicativos de ação antrópica e o quarto representaram os sais solúveis. O emprego da ACP não reduziu significativamente as variáveis, uma vez que o melhor ajuste do modelo ocorreu com a inclusão de 18 das 25 variáveis analisadas.

b) Nonato et al (2007) utilizaram análise multivariada como ACP para interpretar um grande conjunto de dados referentes a qualidade da água e para estabelecer uma rede de

monitoramento ideal a longo prazo na Bacia do Alto Curso do Rio das Velhas, MG. Foram monitoradas 37 estações no período de dois anos com coletas mensais e trimestrais sendo analisados 39 variáveis físico-químicas. Com a ACP, identificaram-se quatro componentes que são responsáveis pela estrutura dos dados explicando 80% da variância total. Os parâmetros como nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo, estreptococos, coliformes fecais, DBO e DQO caracterizam impacto causado pelo lançamento de esgoto sanitário. Outros parâmetros como sólidos em suspensão, turbidez e Fe total, evidenciam o impacto ambiental causado por atividade de mineração.

c) Bertossi et al (2013) empregaram técnicas de Estatística Multivariada (ACP e AA) com o objetivo de selecionar as características físico-químicas mais importantes para explicar a variabilidade da qualidade das águas de uma sub-bacia hidrográfica rural no Sul do Estado do Espírito Santo, além de agrupar as águas estudadas quanto à similaridade das características selecionadas para verificar o efeito do tipo de cobertura do solo, de recurso hídrico (subterrâneo e superficial) e período de coleta (chuva e estiagem). A ACP promoveu a redução de dezenove parâmetros de qualidade em três componentes que explicaram 87,53% da variância total. Na AA foram formados quatro grupos distintos de qualidade da água que diferiram quanto à concentração das características físico-químicas e quanto ao tipo de recurso hídrico estudado, já os períodos de coleta e o tipo de cobertura do solo não influenciaram na segregação dos grupos formados.

d) Barros et al (2011) utilizaram técnicas de estatística multivariada como AA e ACP para avaliar os dados da qualidade de água da Lagoa da Parangaba, Fortaleza, CE, com o intuito de determinar as relações e a influência dos fatores determinantes na qualidade da água. A pesquisa contemplou amostras bimestrais no período de agosto de 2006 a julho de 2009, em três pontos distintos da lagoa. O estudo objetivou extrair indicadores de qualidade para diferentes pontos de coleta do corpo hídrico. A partir da ACP foram selecionados igualmente 9 parâmetros para os dois testes. Foram extraídos três componentes principais explicando 64% e 67% de variância total dos dados, respectivamente para os dois procedimentos. As componentes principais foram extraídas, com rotação, utilizando o critério da raiz latente, seguido da obtenção dos escores fatoriais, através do método de Bartlett, os quais foram utilizados como índices de qualidade deles derivados, bem como associá-los com a precipitação pluviométrica do período. Análise de agrupamento foi aplicada para analisar similaridade entre os pontos de amostragem, como também, identificar os distintos testes de agrupamento e a influência dos teores de metais nestes.

e) Wang et al (2006) aplicaram análise multivariada como ACP para delinear as características da qualidade da água dos principais rios da bacia hidrográfica do Taihu, China, além de identificar as influências antropogênicas na variação de indicadores específicos da qualidade da água nesses rios. O estudo contemplou 5 anos de coletas mensais em 19 pontos de monitoramento, sendo analisados 11 variáveis de qualidade da água. ACP extraiu três Componentes Principais, explicando 69% da variância total dos parâmetros: dimensão dos nutrientes, dimensão da resposta ecológica e de contaminação química orgânica.

f) Zhang et al (2011) realizaram um estudo em cinco cursos d'água em Hong Kong, China. O trabalho contemplou 8 anos de coletas mensais em 16 estações de monitoramento, sendo analisados 48 variáveis de qualidade da água. Para isso, técnicas de análise multivariada como ACP, para; reconhecer os parâmetros responsáveis pelas variações temporais e espaciais e Identificar fatores que explicam as fontes de poluição. Na ACP, quatro parâmetros contabilizam 84,2% da variação temporal e oito parâmetros correspondem a 96,1% da variabilidade espacial. Além disso, quatro fatores latentes explicaram 73,24% da variância total dos dados.

4 ÁREA DE ESTUDO

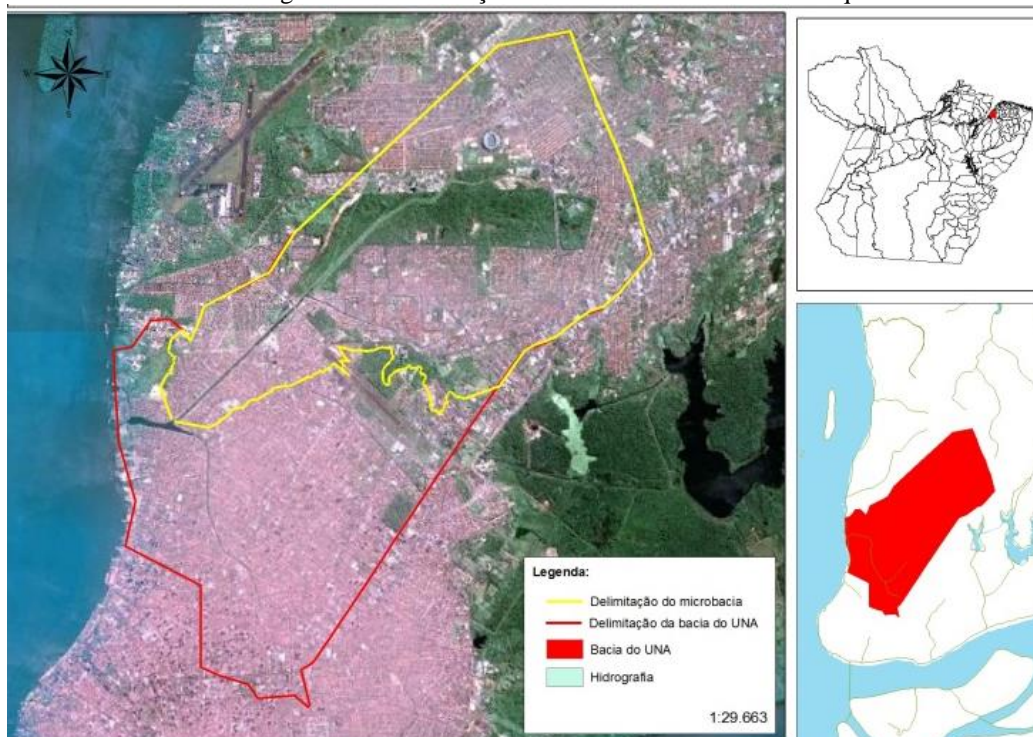
A Região Metropolitana de Belém (RMB) possui grande parte de seu território constituído de corpos hídricos (canais, igarapés, rios, etc.). O canal São Joaquim é apenas um desses. A sub-bacia do canal constitui mais da metade do território da bacia do Una e abrange 12 bairros (Barreiro, Sacramento, Maracangalha, Souza, Marambaia, Castanheira, Val de Cães, Bengui, Parque Verde, Cabanagem, Atalaia e Mangueirão). Na sub bacia fazem parte, áreas verdes, zonas industriais (concentradas e dispersas), além de áreas residenciais tanto na periferia quanto no centro da cidade de Belém.

O clima da região pertence à categoria equatorial quente úmido, cujas características principais são altas temperaturas, ventos de pouca velocidade intercalados por calmarias frequentes, umidade relativa do ar elevada e precipitações anuais abundantes em torno de 2800 mm/ano com maior frequência de chuvas no período de janeiro a junho e picos observados nos meses de março. A temperatura média anual de 26°C, com máxima de 34°C e mínima de 18°C; umidade média do ar totalizando 85% (Belém, 2000 apud Santos, 2010).

A área de drenagem da sub-bacia do canal São Joaquim é de 19,96 Km² e o perímetro é 27,32 km, sendo o comprimento do rio principal igual a 8,97 Km e o comprimento total dos cursos d'água igual a 27,75 km. A forma da sub bacia foi determinada por Carvalho (2011) - através do Programa Acgiss v. 9.0, como estreita e alongada, o fator de forma encontrado foi igual a 0,56, enquanto o coeficiente de compactidade 1,37. A densidade de drenagem é de 0,87 km/km² e o índice de circularidade igual a 0,53, sendo o canal São Joaquim classificado como rio de 4ª ordem.

O fator de forma que segundo Villela e Mattos (1975) indica alguma tendência de inundações. Foi determinado por Carvalho (2011) e apresentou valor igual a 0,56, o que caracteriza um fator de forma baixo, ou seja, com pouco risco de inundação, pois há uma menor possibilidade de uma chuva intensa cobrir toda a sua extensão do que numa bacia com mesma área e fator de forma maior.

Figura 10 - Delimitação da sub bacia do canal São Joaquim



Fonte: Carvalho, 2011.

O índice de circularidade igual a 0,53 indica que a bacia possui grande tempo de concentração, que refere-se ao tempo contado a partir do início da precipitação do ponto mais distante até o exutório.

A densidade de drenagem da sub-bacia do canal São Joaquim corresponde a 0,87 km/km², indicando que a sub-bacia possui uma baixa capacidade de drenagem de acordo com o modelo proposto por Christofolletti.

4.1 DADOS DE SANEAMENTO DA SUB BACIA DO CANAL SÃO JOAQUIM

Segundo a Companhia de Administração do Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém - CODEM (2000), a sub-bacia do Canal São Joaquim possui uma área aproximada de 1.996 hectares (53,14% da Bacia do Una), englobando 13 bairros. A partir disto, pode-se então calcular a densidade populacional da sub-bacia do Canal São Joaquim. Para isso, foi calculada a área dos bairros que estão inseridos na região de estudo, multiplicando-se pela densidade populacional de Belém e Ananindeua, chegando assim, aos seguintes valores, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Lista de bairros inseridos na microbacia, suas respectivas áreas e densidade populacional de Belém e Ananindeua

BAIROS	AREAS (Km ²)	DENSIDADE POPULACIONAL (hab/Km ²)
MARAMBAIA	5,0154	BELÉM 1.315,27 (hab/km ²)
MANGUEIRÃO	6,1510	
BARREIRO	0,4891	
SACRAMENTA	1,6904	
MARACANGALHA	0,7714	
SOUZA	1,2740	
CASTANHEIRA	1,2139	
VAL-DE-CANS	1,1323	
BENGUI	0,3015	
PARQUE VERDE	0,6545	
CABANAGEM	0,5167	
ATALAIA	1,6970	ANANINDEUA 2.477,56 (hab/km ²)

Fonte: IBGE, 2010

Realizando esta multiplicação obteve-se o resultado de 29.471 habitantes, ou seja, a sub-bacia do Canal São Joaquim esta sob influência de quase 30 mil pessoas, onde parte delas moradoras de domicílios irregulares.

Na Tabela 6 está identificado o total de domicílios particulares permanente por bairro na sub-bacia do Canal São Joaquim.

Tabela 6: Número de Total de Domicilios Permanentes dos Bairros da Sub Bacia

BAIROS DA SUB BACIA	TOTAL DE DOMICÍLIOS PERMANENTE
BARREIRO	3.660
MARACANGALHA	1.592
VAL-DE-CÃES	691
PARQUE VERDE	2.943
CABANAGEM	2.573
BENGUÍ	2.288
MANGUEIRÃO	7.898
MARAMBAIA	13.235
SACRAMENTA	6.671
SOUZA	1.219
CASTANHEIRA	2.726
ATALAIA	1.673
TOTAL DE DOMICILIOS	47.169

Fonte: CODEM, 2000

Segundo o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – SNIS (2013), Com relação ao abastecimento de água, o Barreiro apresenta o maior número de domicílios ligados à rede geral (97,90%), enquanto que o Parque Verde detém o menor (53,16%), concentrando o maior percentual de domicílios abastecidos por poços ou nascentes (41,80%). Na Cabanagem, no qual 27,4% dos domicílios não se encontram ligados à rede geral, 12,13% são abastecidos por água de chuva. conforme Tabela 7.

Tabela 7: Condições do abastecimento de água dos domicílios.

Bairros da sub-bacia do São Joaquim	Domicílios com abastecimento de água da rede geral	Domicílios com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade	Domicílios com abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna	Domicílios com abastecimento outra forma de abastecimento de água
Barreiro	97,90%	1,80%	0,00%	0,30%
Maracangalha	80,59%	18,47%	0,00%	0,94%
Val-de-Cans	83,36%	15,34%	0,00%	1,30%
Parque Verde	53,16%	41,80%	0,34%	4,70%
Cabanagem	72,60%	13,00%	12,00%	2,40%
Benguí	74,91%	23,34%	0,00%	1,75%
Mangueirão	60,60%	28,89%	0,01%	10,50%
Marambaia	85,10%	14,40%	0,00%	0,50%
Sacramenta	93,28%	5,55%	0,00%	1,17%
Souza	78,30%	20,60%	0,00%	1,10%
Castanheira	51,67%	38,89%	0,00%	1,50%
Atalaia	57,83%	26,57%	0,00%	1,04%

Fonte: Adaptado de SNIS, 2013

5 MATERIAL E MÉTODOS

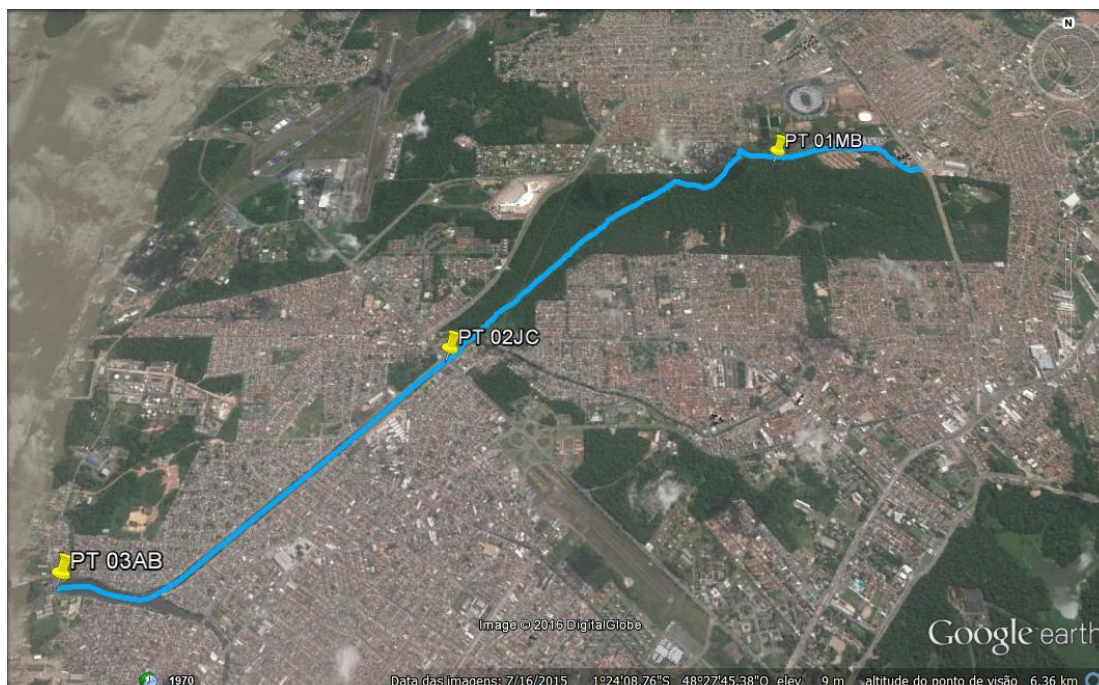
5.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os pontos de amostragem no canal São Joaquim foram definidos ao longo da sua extensão, avaliadas no sentido de sua nascente à foz, levando em consideração a acessibilidade minimamente segura, já que se trata de uma área de alta taxa de criminalidade. Para isso foram selecionados três pontos amostrais, sendo estes: Um ponto localizado em área de mata fechada pertencente à Marinha do Brasil, com preservação de vegetação nativa; outro localizado em uma área densamente urbanizada que “corta” uma avenida bastante movimentada e o último ponto localizado próximo às comportas que desaguam para a Baía do Guajará.

As nomenclaturas utilizadas nesse trabalho são: PT 01 MB (Marinha do Brasil); PT 02 JC (Júlio César) e PT 03 (Arthur Bernardes).

Os três pontos de amostragem no canal São Joaquim, bem como o bairro que se localizam e suas coordenadas geográficas podem ser visualizados na Figura 11 e Tabela 8.

Figura 11 - Localização dos pontos de amostragem no canal São Joaquim



Fonte: Google Earth, 2014.

Tabela 8: Localização dos pontos de amostragem do canal são Joaquim

PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	LOCALIZAÇÃO
PT 01 MB	1°23'13.23"S	48°26'48.85"O	Bairro Mangueirão
PT 02 JC	1°24'11.34"S	48°28'12.64"O	Bairro Sacramento
PT 03 AB	1°25'5.20"S	48°29'32.95"O	Bairro Barreiro

Fonte: Autora, 2015.

5.1.1 Caracterização dos Pontos de amostragem

A caracterização mais detalhada dos pontos de amostragem é descrita a seguir:

a) Ponto 01 (Marinha do Brasil)

O ponto 01 localiza-se em uma nascente dentro de área de Marinha, com visível preservação de vegetação nativa (Figura 12). O acesso ao ponto faz-se pela Avenida Mangueirão e depois pela rua chamada Passagem do Canal. Apesar da boa aparência da água, é possível perceber que no entorno do ponto vem ocorrendo uma gradativa expansão do mercado imobiliário o que futuramente pode vir a comprometer a qualidade da água dessa nascente. Na via de acesso ao ponto, foi possível observar o lançamento de esgoto *in natura* e a deposição inadequada de resíduos sólidos nas margens do canal.

Figura 12 - Localização do ponto 01 localizado no bairro do Mangueirão



Fonte: Autora, 2015.

b) Ponto 02 (Júlio César)

O ponto 02 localiza-se sobre uma ponte na Avenida Júlio César, caracterizada como uma avenida de tráfego intenso por se tratar de uma rota alternativa no sentido Avenida

Augusto Montenegro-Centro de Belém, além de ser a avenida de acesso ao Aeroporto Internacional de Belém. O ponto localiza-se entre a Passagem o Sol nasce para todos e Rua do Canal, no Bairro da Sacramenta. A área do entorno do ponto é densamente urbanizada e nas proximidades do local foi possível verificar a deposição inadequada de resíduos sólidos as margem do canal, além de apresentar grande parte de seu curso assoreado. (Figura 13)

Figura 13 - Localização do ponto 02 localizado no bairro da Sacramenta.



Fonte: Autora, 2015.

c) PT 03 (Bairro Barreiro)

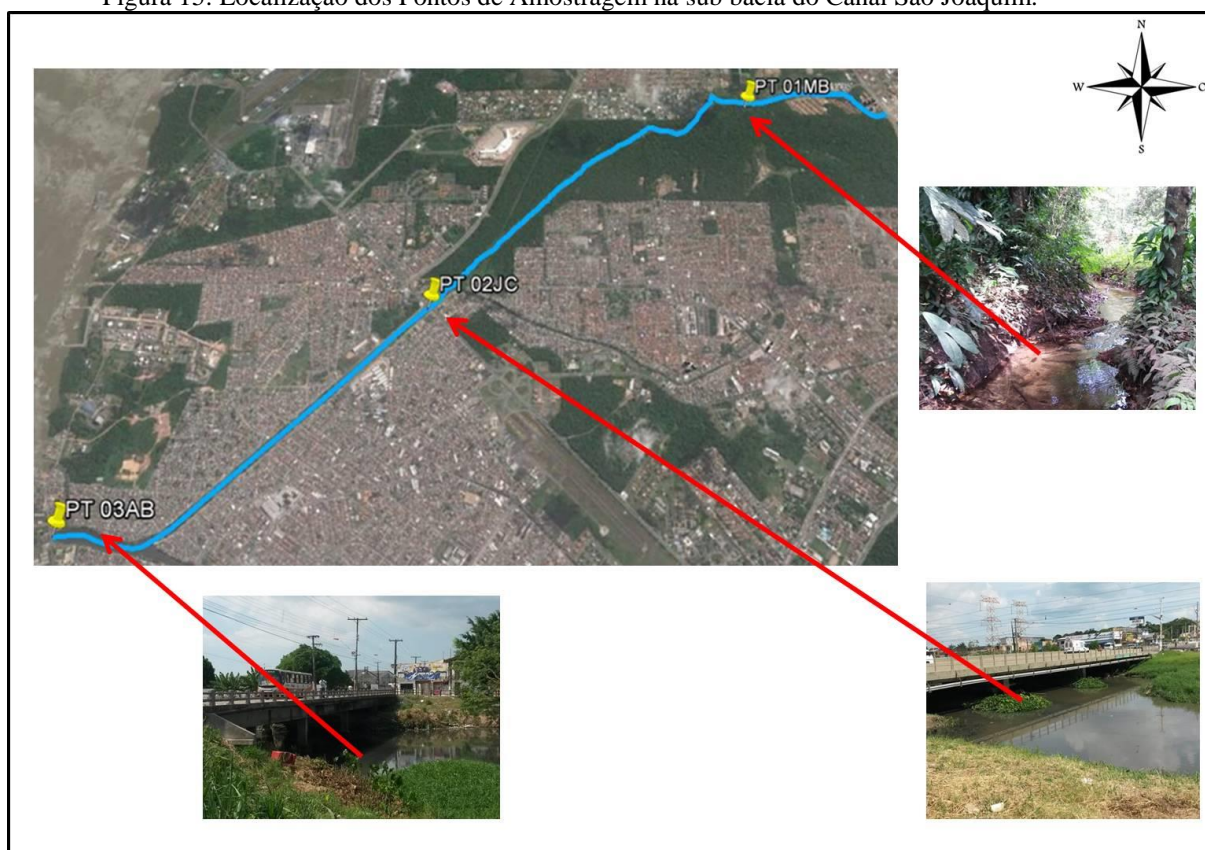
Ponto localizado na ponte da Rodovia Arthur Bernardes sobre o canal São Joaquim já próximo às comportas de desaguamento para a Baía do Guajará. O ponto localiza-se entre a Passagem Santa Rita e Rua Nova, no bairro do Barreiro e se caracteriza como uma área periférica densamente urbanizada. Nas proximidades da ponte também situa-se a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA). Neste ponto foi possível observar o lançamento de resíduos às margens do canal e criação de animais. A Figura 14 ilustra a localização do ponto de amostragem e Figura 15 a localização espacial de todos os pontos de amostragem na sub bacia do canal São Joaquim.

Figura 14: Localização do Ponto 03 localizado no bairro do Barreiro.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 15: Localização dos Pontos de Amostragem na sub bacia do Canal São Joaquim.

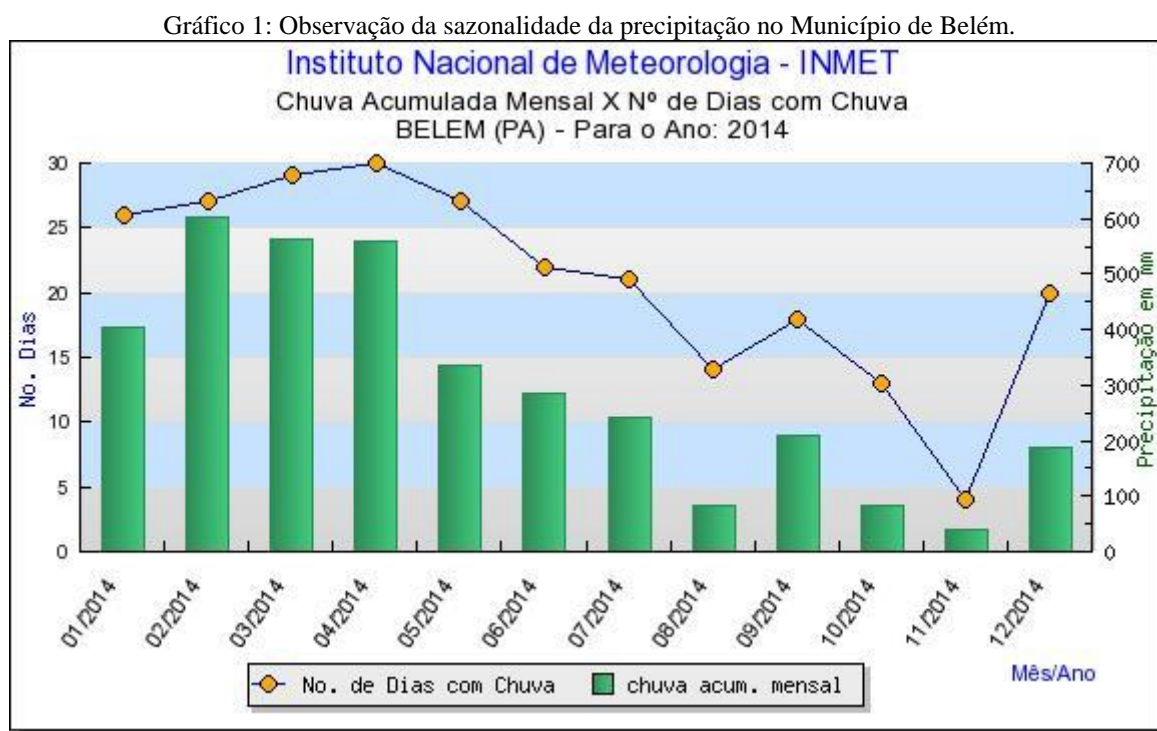


Fonte: Autora, 2015.

5.1.2 Levantamento das variáveis climatológicas e hidrométricas

A coleta e análise das amostras foram realizadas entre os meses de fevereiro de 2014 a Janeiro de 2015, abrangendo os períodos seco e chuvoso. As coletas foram feitas sempre no intervalo entre 13:00h e 14:30h devido disponibilidade de transporte do Instituto Evandro Chagas e acessibilidade segura aos pontos de amostragem.

Para efeito de comparação das variáveis nos diferentes períodos (seco e chuvoso), considerou-se a sazonalidade do município de Belém, conforme descrito por Menezes (2013), onde o período seco contempla os meses de Junho a Novembro e o período chuvoso, os meses de Dezembro a Maio. O Gráfico 1 mostra esse mesmo comportamento para o ano de 2014, (período de realização da pesquisa).



O comportamento da maré pode influenciar nos resultados obtidos da análise das variáveis de qualidade da água. Por esse motivo, as alturas foram levadas em consideração, já que o ponto 03 sofre influência de maré. A tábua de maré que foi levada em consideração, localiza-se no Porto de Belém, no Bairro do reduto (Latitude: 01°26,2'S e Longitude: 048°29,6'W) e as alturas são registradas no site do Banco Nacional de Dados Oceanógrafos (BNDO) da Marinha do Brasil.

Assim como o comportamento da maré, Tucci (2004) afirma que a precipitação também pode influenciar os diversos parâmetros de qualidade da água na bacia de drenagem e na evolução ou diminuição da poluição da água. Por esse motivo, as informações pluviométricas da véspera e do dia de coleta foram levadas em consideração, uma vez que, estas informações possam ter alguma influência no resultado das análises. Ressalta-se aqui, que em todos os dias de amostragem, não houve ocorrência de chuva até a hora da coleta das amostras.

A Tabela 9 resume as datas, horários e altura da tábua de maré obtida no site da Marinha do Brasil (2014).

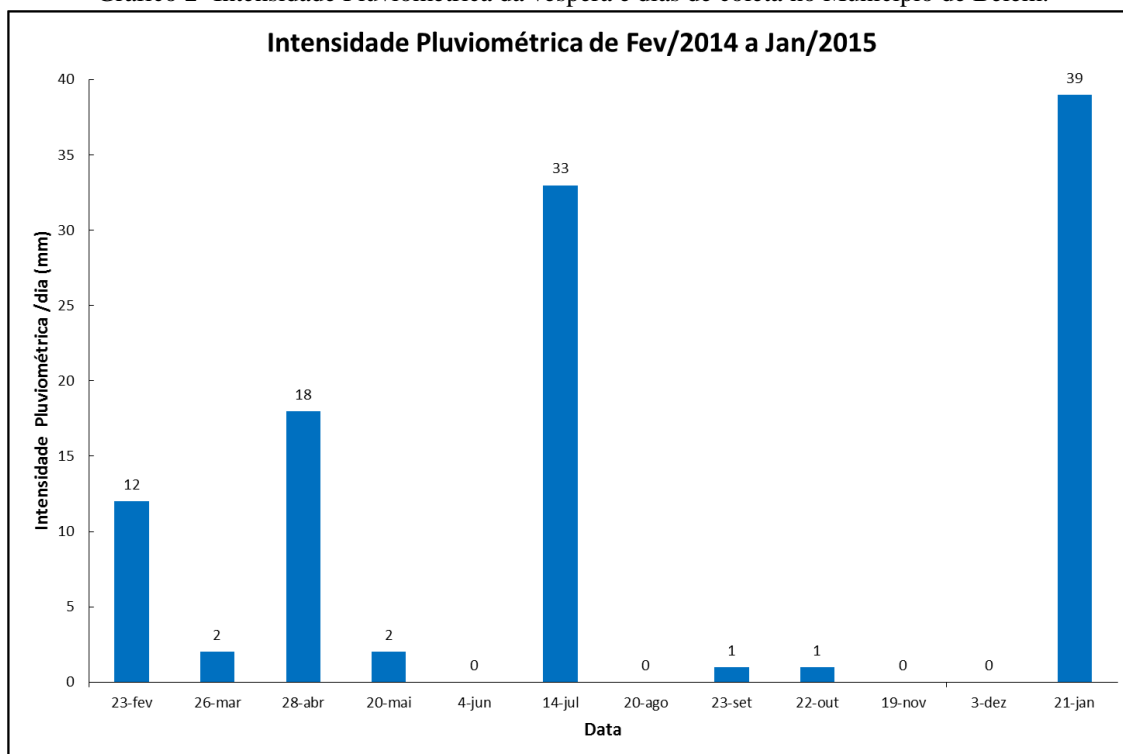
Tabela 9 - Data, hora e tábua de Maré das campanhas de amostragem.

Campanha	Data	Hora	Tábua de Maré		
			Hora (h)	Altura	Situação
1ª Campanha	24/02/2014	13:00-14:30	13:45	0.9	Baixa Mar
2ª Campanha	27/03/2014	13:00-14:30	15:47	0.6	Baixa Mar
3ª Campanha	29/04/2014	13:00-14:30	12:02	3.4	Preamar
4ª Campanha	21/05/2014	13:00-14:30	12:39	0.8	Baixa Mar
5ª Campanha	04/06/2014	13:00-14:30	15:09	2.9	Preamar
6ª Campanha	15/07/2014	13:00-14:30	13:23	3.5	Preamar
7ª Campanha	21/08/2014	13:00-14:30	15:39	0.8	Baixa Mar
8ª Campanha	24/09/2014	13:00-14:30	11:24	3.2	Preamar
9ª Campanha	23/10/2014	13:00-14:30	10:53	3.2	Preamar
10ª Campanha	20/11/2014	13:00-14:30	16:47	0.5	Baixa Mar
11ª Campanha	04/12/2014	13:00-14:30	16:21	0.6	Baixa Mar
12ª Campanha	22/01/2015	13:00-14:30	12:45	3.4	Preamar

Fonte: Autora, 2015.

As informações referentes ao comportamento da precipitação no município de Belém/PA na véspera dos dias de coleta estão apresentados no Gráfico 2.

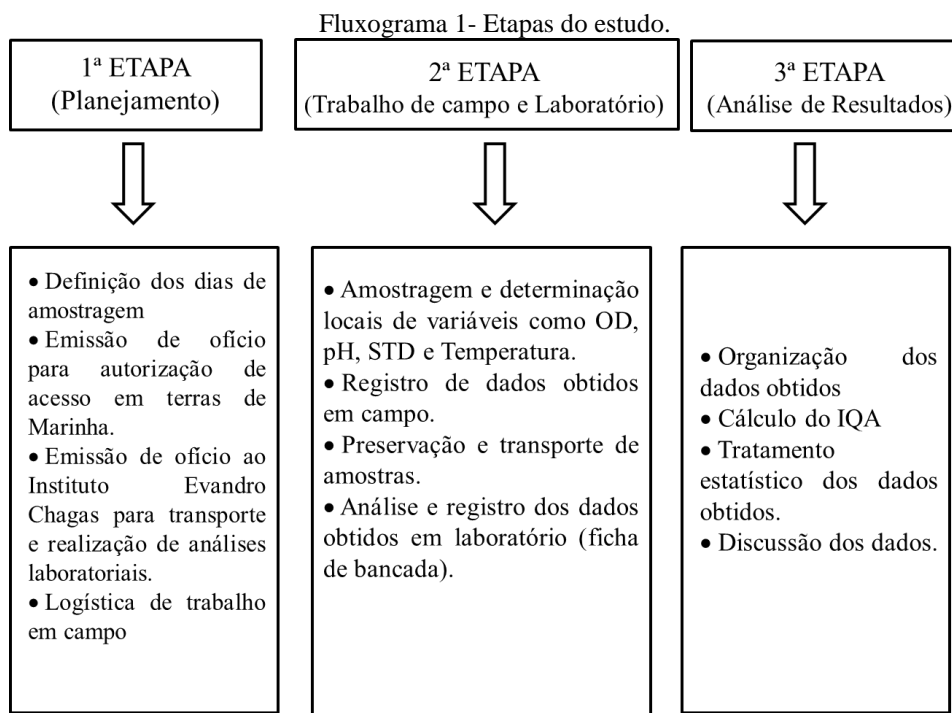
Gráfico 2- Intensidade Pluviométrica da véspera e dias de coleta no Município de Belém.



Fonte: Adaptado de INMET, 2014.

5.1.3 Planejamento e Realização das Atividades

O trabalho experimental de coleta e análise da qualidade da água realizada na sub-bacia do canal são Joaquim foi desenvolvido nos meses de Fevereiro de 2014 a Janeiro de 2015 e contemplaram três etapas: planejamento de coleta; trabalho de campo e laboratório e tratamento estatístico dos dados para avaliação dos resultados. O Fluxograma 1 apresenta de forma sucinta as etapas de estudo.



Fonte: Autora, 2014.

5.2 PROCEDIMENTO DE COLETA

Para a realização da coleta, foram utilizados os seguintes materiais: frascos de polipropileno com volumes de 500 mL e 1L; gelo do tipo cold pack, caixas isotérmicas para refrigeração e preservação de amostras, corda e balde (confeccionado em aço inox AISI 316L polido) e câmera fotográfica (Figura 16). Para a medição das variáveis de campo foi utilizada sonda multiparamétrica (marca HANNA® modelo HI 769828).

Figura 16 - Kit de coleta de água e medição utilizada na pesquisa.



Fonte: Autora, 2015

A amostragem para determinação das variáveis físico-químicas e microbiológicas nos pontos de coleta seguiu a técnica proposta por CETESB (2011) de imersão do frasco numa profundidade máxima de 30 cm de coluna d'água, sendo a coleta nos pontos 03 e 02 feita com auxílio de corda e balde, já que os pontos citados localizam-se sob pontes.

As amostras de água foram coletadas em frascos de polipropileno com capacidade de 1L, preservadas em caixas isotérmicas sob refrigeração de aproximadamente 4°C e transportadas para o laboratório de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas- IEC (Figura 17).

Figura 17: Amostras preservadas para transporte até o laboratório de análise.



Fonte: Autora, 2015.

Para análise microbiológica, foram utilizados na coleta frascos de polipropileno esterilizados, com capacidade de 500 ml, sendo as amostras coletadas, e também preservadas em caixas isotérmicas sob refrigeração de aproximadamente 4°C e transportadas para o laboratório de Microbiologia Ambiental da Universidade Federal do Pará-UFPA, onde foram realizados os procedimentos necessários para os exames microbiológicos.

5.3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

As variáveis analisadas nesse estudo contemplam aquelas que serão utilizadas no cálculo do IQA para classificar a qualidade da água do corpo hídrico, são elas: Temperatura (T), pH, turbidez (Turb), sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos totais suspensos (STS), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e coliformes termotolerantes (CTT), sendo que o valor de resíduo total, utilizado nas discussões e no cálculo do IQA, será a somatória de STD e STS.

Os procedimentos analíticos utilizados para determinação das variáveis analisadas seguiram a metodologia padronizada e validada conforme recomendações descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater proposta por APHA, AWWA e WEF (2005) e Manual do Espectrofotômetro HACH® (1990 e 2007).

5.3.1 *Análise das variáveis físico-químicas e microbiológicas*

a) pH

Variável de campo determinada através de sonda multiparamétrica HI 769828 da HANNA[®] utilizando o método potenciométrico, sensor pH/ORP Probe HI 769828-1 (SM 4500B).

b) Resíduos Totais

Variável resultante da soma entre Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Sólidos Totais em Suspensão (STS). STD foram determinados através de sonda multiparamétrica HI 769828 da HANNA[®] utilizando o método potenciométrico, sensor de condutividade EC HI 769828-3 (SM 2540). STS foram determinados pelo método gravimétrico utilizando papel filtro e membrana millipore de 0,45µm.

c) Oxigênio Dissolvido

Variável de campo determinada através de sonda multiparamétrica HI 769828 da HANNA[®] utilizando o método do eletrodo contendo membrana por difusão; sensor OD/Temperatura HI 769828-2 (SM 4500 O).

As variáveis de campo como pH, Temperatura, Sólidos Totais Dissolvidos e Oxigênio Dissolvido (mg/L) foram determinadas através de sonda multiparamétrica HI 769828 da HANNA[®].

d) Nitrogênio Total

Variável determinada em laboratório através do método de digestão e Nesslerização por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) e 460 nm (SM 4500- Norg B).

e) Fósforo Total

Variável determinada em laboratório através do método de digestão de persulfato de potássio seguido de método colorimétrico do ácido ascórbico por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) de 880 nm (SM- 4500 P-E).

f) Turbidez

Variável determinada em laboratório através do método absorvométrico por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) de 450 nm (8237 HACH[®]). Neste caso, os valores em UFT (Unidade Formazina de Turbidez) foram convertidos em UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez) através da multiplicação por um fator de correção encontrado (1,02) a partir de testes realizados com o padrão de formazinha de 100 UNT no espectrofotômetro DR 2000 da HACH[®] e no turbidímetro 2100P da HACH[®].

As variáveis Nitrogênio Total, Fósforo Total e Turbidez foram determinadas por espectrofotometria utilizando os equipamentos DR 2000 e 2800 (UV-VIS).

g) DBO₅

A variável DBO foi determinada pelo método respirométrico de incubação por cinco dias a 20°C através do equipamento HACH BODTRAK (SM 5210 D).

h) Coliformes Termotolerantes

A variável foi determinada no laboratório de microbiologia ambiental da UFPA através da técnica de Tubos Múltiplos– Número Mais Provável (NMP), a qual consistiu em duas etapas principais: a presuntiva, onde se utilizou o Caldo Lauril Sulfato Triptose como meio de cultivo; e a de confirmação na qual se utilizou o Caldo Verde Bile Brilhante.

Após a análise laboratorial das variáveis, os resultados foram organizados em planilhas no Microsoft Excel 2010 para análise estatística e geração de gráficos. Após tais resultados obtidos, foi realizada a interpretação dos dados para a classificação das variáveis de acordo com os parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces.

5.4 CÁLCULO DO IQA

O IQA do canal São Joaquim foi determinado a partir dos dados coletados nas doze campanhas amostrais (fev/2014 a jan/2015). O cálculo foi efetuado segundo Equação 1 citada no item 3.8, seguindo mesmo critério da CETESB.

A determinação dos valores de q_i de cada variável foi realizada de acordo com as curvas de qualidade dos parâmetros da metodologia do NSF que foram transformadas pela CETESB em equações e organizada em planilhas no aplicativo Excel (Microsoft Office).

As equações utilizadas são apresentadas na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10: Equações representativas das curvas de qualidade do NSF para determinação dos valores de q_i para as nove variáveis utilizadas no cálculo do IQA.

Variável	Limites	Equação de q_i
Porcentagem de Saturação de OD (%)	0 < %OD < 50	$3+(0,34*(\% \text{sat}))+0,008095*(\% \text{sat})^2+1,35252*0,00001*(\% \text{sat})^3$
	50 < %OD < 85	$3-1,166*(\% \text{sat})+0,058*(\% \text{sat})^2+-3,803435*0,0001*(\% \text{sat})^3$
	85 < %OD < 100	$3+3,7745*(\% \text{sat})^{0,704889}$
	100 < %OD < 140	$3+2,9*(\% \text{sat})-0,02496*(\% \text{sat})^2+5,60919*0,00001*(\% \text{sat})^3$
	%OD > 140	3+47
Coliformes Termotolerantes (Log ₁₀ CT)	0 < Log ₁₀ CT ≤ 1	100-33*logCT
	1 < Log ₁₀ CT ≤ 5	100-37,2*logCT+3,60743*xlogCT ²
	Log ₁₀ CT > 5	3
pH	pH < 2	2
	2 < pH < 4	$13,6-10,6*pH+2,4364*pH^2$
	4 < pH < 6,2	$155,5-77,36*pH+10,2481*pH^2$
	6,2 < pH < 7	$(-657,2)+197,38*pH-12,9167*pH^2$
	7 < pH < 8	$(-427,8)+142,05*pH-9,695*pH^2$
	8 < pH < 8,5	216-16*pH
	8,5 < pH < 9	$1415823*EXP^{-1,1507*pH}$
	9 < pH < 10	228-27*pH
	10 < pH < 12	$633-106,5*pH+4,5*pH^2$
12 < pH < 14	3	
DBO	DBO ≤ 5	$99,96*EXP(-0,1232728*C)$
	5 < DBO < 15	$104,67-31,5363*Log_{10}(C)$
	15 < DBO < 30	$4394,91 * C^{-1,99809}$
	DBO > 30	2
Nitrogênio Total (mgN/L)	NT < 10	$100-8,169*C+0,3059*C^2$
	10 < NT < 60	$101,9-23,1023*Log_{10}(C)$
	60 < NT < 100	$159,3148*EXP(-0,0512842*C)$
	NT > 100	1
Fósforo Total (mgP/L)	PT < 1	$99*EXP(-0,91629*C)$
	1 < PT < 5	$57,6-20,178*C+2,1326*C^2$
	5 < PT < 10	$19,8*EXP(-0,13544*C)$
	PT > 10	5

Turbidez (UNT)	Turb < 25	100,17-2,67* Turb+0,03775* Turb ²
	25 < Turb < 100	84,76*EXP(-0,016206*Turb)
	Turb > 100	5
Sólidos Totais (mg/L)	ST < 150	79,75+0,166*C-0,001088*C ²
	150 < ST < 500	101,67-0,13917*C
	ST > 500	32
Diferença de Temperatura	Considera-se que a diferença de temperatura é zero, uma vez que nossos cursos hídricos não apresentam grande diferença a montante e a jusante do ponto escolhido, sendo assim o subíndice é considerado igual a 94.	

Fonte: Adaptado de CETESB (2014)

As variáveis da qualidade da água foram analisadas para fim de enquadramento de classes conforme resolução CONAMA 357/2005. Após enquadramento, foi realizado o cálculo do IQA, objetivando a comparação com a classe em que esse corpo hídrico se enquadrar. Para isso, foi calculado um IQA modelo segundo os limites estabelecidos para as águas doces classe 2, 3 e 4 da Resolução, conforme tabela 11.

Tabela 11: IQA modelo para águas doces classe 2, 3 e 4 da Resolução CONAMA n° 357/2005.

CLASSES	pH (-)	Temp (°C)	ST (mg/L)	OD (mg/L)	Turb (UNT)	DBO (mg/L)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	CTT (NMP/100mL)	IQA
Classe II	6		500	5	100	5	0,10	2,18	1000	49
Classe III	6	28	500	4	100	10	0,15	2,18	2500	44
Classe IV	6	28	500	2	100	10	0,15	2,18	4000	37

Os valores de coliformes termotolerantes utilizados na equação para determinar os valores de q_i foram convertidos para Log_{10} conforme Medeiros (2011).

Para o cálculo de IQA, o valor de OD encontrado em mg/L foi convertido para % de saturação conforme a Equação 08:

$$C_s = (14,62 - (0,3898 \times \text{temp}) + 0,006969 \times \text{temp}^2 - 0,00005898 \times \text{temp}^3) \times (1 - 0,0000228675 \times \text{altitude})^{5,167} \quad (08)$$

Em que:

C_s – concentração de saturação de oxigênio (mg/l)

Temp – temperatura (°C)

Após o cálculo de C_s , calcula-se a porcentagem de oxigênio dissolvido, dada pela Equação 09:

$$\%OD = (OD/C_s) \times 100 \quad (09)$$

Em que:

%OD – porcentagem de saturação de oxigênio (%)

OD – oxigênio dissolvido (mg/l)

C_s – concentração de saturação de oxigênio dissolvido (mg/l)

A altitude utilizada no cálculo de % de saturação de OD foi adotada na equação o valor igual a 10 m segundo Pimentel *et al* (2012).

5.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

O presente trabalho aplicou a estatística descritiva, analítica e a análise multivariada nos dados obtidos em campo e laboratório. Essas ferramentas são de fundamental importância para explicar o que de fato representam os resultados das variáveis, e se elas sofrem grandes mudanças nos períodos chuvoso e seco e ao longo do canal.

Na estatística descritiva, foram determinados nos dados obtidos, os valores médios, desvio padrão, variância, soma das variáveis e soma ao quadrado das variáveis.

Na estatística analítica foi aplicado o teste de normalidade para verificar se os dados eram paramétricos (seguem uma distribuição normal) ou não paramétricos (não seguem uma distribuição normal). O teste de Anderson-Darlin foi escolhido para avaliar a distribuição dos dados dos três pontos de amostragem, para cada variável. Esse teste consiste em avaliar duas hipóteses (FERREIRA, SOUZA E SILVA, 2013):

H_0 (Hipótese nula): os dados seguem uma distribuição de probabilidade normal (Paramétrico).

H_1 (Hipótese alternativa): os dados não seguem uma distribuição de probabilidade normal (Não Paramétrico).

A distribuição dos dados é considerada normal (H_0 aceito) quando o “p-valor” apresentado é maior que o nível de significância α ($\alpha= 5\%$). Da mesma forma, a distribuição dos dados não é considerada normal (H_0 rejeitado) quando o p valor for menor que α .

O teste de Anderson-Darling é expresso pela Equação 10 (FERREIRA, SOUZA E SILVA, 2013):

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F(X_i) + \ln(1 - F(X_{n-i+1}))] \quad (10)$$

Onde:

n é o tamanho da amostra;

F é a função de distribuição acumulada para a distribuição específica

I e i-ésima amostra: quando os dados estão ordenados em ordem crescente.

Após o teste de normalidade, testes de hipóteses foram aplicados para avaliar a qualidade da água do canal São Joaquim para a variação sazonal e para condições de maré diferentes (apenas para o ponto 03, que sofre influência de maré). O teste t de Student foi aplicado nos dados definidos como paramétricos, e o teste de Mann Whitney nos dados considerados não paramétricos. Os dois testes adotaram um nível de significância de 5 %. ($\alpha=0,05$).

O software Minitab 17 foi utilizado para realizar o teste de Anderson Darling e o teste de Mann Whitney (para verificar se há diferenças nas variáveis não paramétricas entre os períodos seco e chuvoso e a variação de maré no ponto 03). O programa Microsoft Excel 2010 foi utilizado para aplicar o teste t de Student sobre os dados paramétricos para avaliar se há diferenças na sazonalidade e variação de maré no ponto 03.

Para a realização do teste de similaridade dos pontos, foi aplicada a análise estatística de variância (ANOVA), no software Minitab 17, comparando os pontos por cada variável, nos dados normalizados. A ANOVA (Análise de Variância) é utilizada como uma forma de testar a hipótese de que as médias de uma ou mais variáveis são idênticas. Essa Análise testa a importância de um ou mais fatores comparando as médias das variáveis de resposta em diferentes níveis dos fatores. A hipótese nula afirma que todas as médias das populações (médias dos níveis dos fatores) são iguais, enquanto a hipótese alternativa afirma que pelo menos uma é diferente. (MUNDSTOCK *et al*, 2006).

Na análise multivariada (realizada no software IBM SPSS 22), os dados originais, foram apresentados em forma de matriz, expressos por $X = (x_{i,j})$ em que, $i = 1 \dots n$ amostragens (36) e $j = 1 \dots p$ variáveis (09). A matriz de correlação (que leva em consideração as variáveis com valores discrepantes e diferentes unidades.) foi utilizada para verificar a correlação entre as variáveis. Após isso, foi aplicado o teste de KMO para verificar se os dados estavam adequados para a análise. Em seguida, foram extraídos os autovalores e calculadas as porcentagens de variância, para então extrair os autovetores (após aplicação de rotação varimax) que explicaram os componentes principais.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas, bem como os valores de IQA obtidos no canal São Joaquim durante os doze meses de amostragem (entre Fevereiro de 2014 e Janeiro de 2015) são apresentadas nas tabelas 12 a 14.

Tabela 12: Variáveis físico-químicas e microbiológicas e IQA do Ponto 01.

DATA	pH (-)	Temp (°C)	ST (mg/L)	OD (mg/L)	Turb (UNT)	DBO (mg/L)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	CTT (NMP/100mL)	IQA (-)
fev/14	5,28	26,00	16,30	4,51	1,00	24,00	0,01	0,44	7,80E+00	56
mar/14	5,14	26,00	22,10	1,10	5,00	17,00	0,08	0,00	1,00E+00	45
abr/14	5,71	25,90	16,90	2,40	0,00	1,00	0,06	7,00	4,50E+01	58
mai/14	5,23	26,20	18,80	4,14	0,00	9,00	0,01	0,60	2,00E+00	49
jun/14	4,72	26,10	20,00	2,95	2,05	6,00	0,07	3,69	1,00E+00	59
jul/14	4,86	26,50	49,60	3,12	13,00	17,00	0,07	0,49	2,42E+03	47
ago/14	6,03	26,40	24,80	1,39	5,00	6,00	0,12	2,94	1,30E+03	45
set/14	6,28	26,40	58,50	4,28	45,00	13,00	0,27	1,89	2,00E+02	58
out/14	6,39	26,80	71,50	2,90	8,00	3,96	0,29	2,75	2,00E+02	54
nov/14	7,07	27,10	86,00	3,90	14,00	0,80	0,50	0,02	3,50E+03	52
dez/14	7,42	26,60	148,30	3,70	10,50	0,40	0,54	4,80	4,30E+03	48
jan/15	7,87	23,20	107,20	3,04	23,60	2,00	0,33	3,14	2,14E+03	48
Média	6,25	26,10	53,33	3,12	10,60	8,3	0,20	2,3	1,18E+03	51,6
Mediana	6,16	26,30	37,20	3,08	6,50	6,00	0,10	2,32	2,00E+02	50,5
Desvio	1,09	0,98	42,80	1,08	12,90	7,8	0,19	2,2	1,55E+03	5,2
Variância	1,20	0,96	1831,84	1,18	166,29	60,1	0,03	4,7	2,40E+06	27,5
Mínimo	4,72	23,20	16,30	1,10	0,00	0,40	0,01	0,00	1,00E+00	45
Máximo	7,87	27,10	148,30	4,51	45,00	24,00	0,54	7,0	4,30E+03	59
Amplitude	3,15	3,90	132,00	3,41	45,00	23,6	0,53	7,0	4,30E+03	14
Classe II CONAMA 357/2005	6-9	-	<500	>5,0	<100	<5,0	<0,10	<2,18	1,00E+03	49

Fonte: Autora (2016)

Tabela 13: Variáveis físico químicas e microbiológicas e IQA do Ponto 02.

DATA	pH (-)	Temp (°C)	ST (mg/L)	OD (mg/L)	Turb (UNT)	DBO (mg/L)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	CTT (NMP/100mL)	IQA (-)
fev/14	6,69	27,00	190,70	6,20	35,00	15,00	0,17	0,94	1,60E+03	61
mar/14	7,01	29,80	238,90	1,18	37,00	11,00	0,20	2,63	1,40E+01	51
abr/14	8,45	28,30	153,00	1,10	27,00	20,00	0,26	5,49	2,50E+03	33
mai/14	7,36	30,10	219,50	2,17	16,00	25,00	0,69	3,72	1,60E+05	25
jun/14	7,00	30,60	223,50	1,87	9,15	5,00	2,16	11,06	2,00E+07	31
jul/14	7,43	30,80	223,70	0,81	10,00	27,00	0,18	8,92	1,65E+06	24
ago/14	7,10	27,50	256,90	1,43	32,00	5,00	0,23	3,25	2,50E+07	32
set/14	7,21	30,20	278,20	0,57	81,00	15,00	0,78	1,38	2,20E+07	24
out/14	6,74	30,60	135,90	1,70	6,00	4,43	0,86	2,67	2,20E+07	30

nov/14	7,22	31,40	268,00	0,80	21,00	4,20	0,80	0,19	2,50E+07	26
dez/14	8,27	29,80	314,50	1,83	10,00	1,70	0,93	6,39	5,40E+07	28
jan/15	7,71	26,90	185,60	1,91	12,10	3,00	0,80	4,04	8,50E+04	32
Média	7,35	29,42	224,03	1,80	24,69	11,36	0,67	4,22	1,42E+07	33,08
Mediana	7,22	29,95	223,60	1,57	18,50	8,00	0,74	3,48	1,08E+07	30,50
Desvio	0,55	1,57	52,03	1,48	20,80	8,92	0,56	3,25	1,69E+07	11,37
Variância	0,30	2,47	2706,81	2,18	432,50	79,58	0,31	10,58	2,85E+14	129,36
Mínimo	6,69	26,9	135,90	0,57	6,00	1,70	0,17	0,19	1,40E+01	24,00
Máximo	8,45	31,40	314,50	6,20	81,00	27,00	2,16	11,06	5,40E+07	61,00
Amplitude	1,76	4,50	178,60	5,63	75,00	25,30	1,99	10,87	5,40E+07	37,00
Classe II CONAMA 357/2005	6-9	-	<500	>5,0	<100	<5,0	<0,10	<2,18	1,00E+03	49

Fonte: Autora (2016)

Tabela 14: Variáveis físico químicas e microbiológicas e IQA do Ponto 03.

DATA	pH (-)	Temp (°C)	ST (mg/L)	OD (mg/L)	Turb (UNT)	DBO (mg/L)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	CTT (NMP/100mL)	IQA (-)
fev/14	7,62	28,10	113,60	4,75	66,00	7,50	0,06	1,82	1,60E+03	59
mar/14	6,98	28,60	260,00	1,88	52,00	21,00	0,16	0,77	3,50E+03	36
abr/14	7,78	29,80	127,30	1,10	23,00	16,00	0,17	8,19	4,00E+04	30
mai/14	7,21	29,80	216,00	3,82	14,00	26,00	0,76	2,68	5,40E+03	35
jun/14	6,81	30,60	180,60	1,48	6,05	8,00	1,63	6,59	9,20E+06	29
jul/14	7,33	30,00	167,50	1,06	9,00	35,00	0,17	0,74	2,19E+06	24
ago/14	6,90	29,40	286,80	0,89	30,00	7,00	0,30	3,29	1,30E+07	30
set/14	7,18	30,10	192,40	0,82	57,00	5,50	0,58	1,72	2,20E+07	28
out/14	7,01	30,60	254,50	2,60	5,00	6,39	1,01	2,90	1,30E+07	35
nov/14	7,09	30,30	149,70	1,10	29,00	20,00	0,75	2,90	1,10E+07	23
dez/14	8,70	29,70	279,80	1,97	10,40	0,70	0,61	7,75	3,50E+07	31
jan/15	6,89	26,70	164,30	1,24	6,00	5,10	0,18	1,84	7,50E+04	37
Média	7,29	29,48	199,38	1,89	25,62	13,18	0,53	3,43	8,79E+06	33,1
Mediana	7,14	29,80	186,50	1,36	18,50	7,75	0,44	2,79	5,69E+06	30,5
Desvio	0,53	1,15	59,37	1,25	21,71	10,36	0,46	2,61	1,10E+07	9,3
Variância	0,28	1,32	3524,46	1,55	471,33	107,23	0,21	6,80	1,21E+14	86,6
Mínimo	6,81	26,70	113,60	0,82	5,00	0,70	0,06	0,74	1,60E+03	23,0
Máximo	8,70	30,60	286,80	4,75	66,00	35,00	1,63	8,19	3,50E+07	59,0
Amplitude	1,89	3,90	173,20	3,93	61,00	34,30	1,57	7,45	3,50E+07	36,0
Classe II CONAMA 357/2005	6-9	-	<500	>5,0	<100	<5,0	<0,10	<2,18	1,00E+03	49

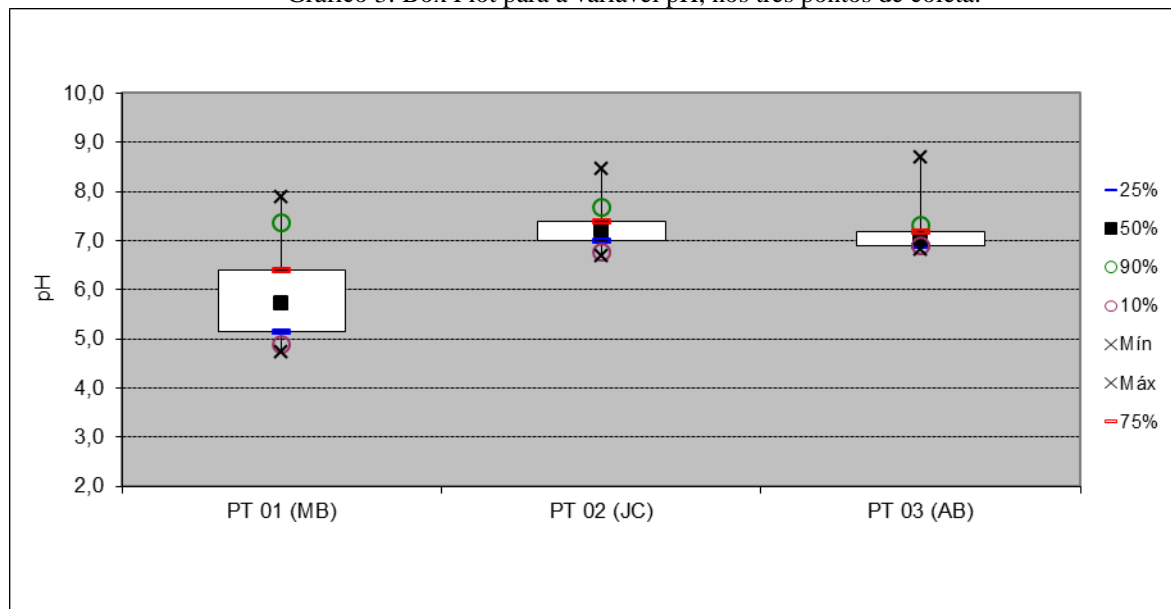
Fonte: Autora (2016)

6.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

6.1.1 pH

O Gráfico 3 apresenta a variabilidade dos valores de pH nos três pontos distribuídos ao longo do Canal São Joaquim durante os doze meses de coleta.

Gráfico 3: Box Plot para a variável pH, nos três pontos de coleta.



Fonte: Autora (2016).

Nos pontos 02 e 03 foi possível observar uma variação dos valores de pH de forma bem semelhante, apresentando-se com características ligeiramente neutras tendo valores máximos e mínimos de 6,69 e 8,45 no ponto 02, e 6,81 e 8,70 no ponto 03.

O ponto 01 apresentou maior amplitude (3,15), com valores mínimos e máximos iguais a 4,72 e 7,87 e média de 6. Neste ponto, 75 % dos valores de pH apresentaram características ácidas ($\text{pH} < 7$), característica essa própria de águas naturais típicas de certos corpos hídricos da região amazônica (SCHAFER, 1985). Os valores de pH nesse ponto sofreram um aumento nos meses menos chuvosos (a partir de Agosto) no ponto 01. O que pode justificar essa variação é o fato da ausência de águas ácidas provenientes da precipitação atmosférica, já que as características naturais de águas de precipitação atmosférica possuem baixo pH (DAMASCENO *et al*, 2015)

De um modo geral, os valores de pH foram mais elevados nos pontos 02 e 03. Esse fato também foi observado por Ferreira *et al* (2012) em igarapés na cidade de Manaus, AM, onde os valores do pH dos igarapés que drenam a cidade apresentaram valores aproximadamente iguais a 5,0 e em áreas urbanas, os valores chegaram a ser superiores a 6,0.

Um cenário também foi semelhante no igarapé Praquiçara no município de Castanhal-PA, como observado por Veronez (2011) com mínima de pH igual de 4,2 e máxima de 6,3 nos pontos próximos às nascentes do Rio e mínima de 5,0 e máxima de 7,5 em áreas com predominância de ocupação urbana.

A resolução CONAMA 357/05, determina pH limite para águas de classes 2 de 6,0 e 9,0, estando fora dos limites o ponto 01, nos primeiros 5 meses (fevereiro a junho) de observação.

Fazendo a comparação sazonal desta variável, não foi possível observar grandes diferenças de pH entre os períodos. O ponto 01 apresentou média de 6,11 no período chuvoso e 6,4 no período seco. Os pontos 02 e 03 apresentaram no período chuvoso médias de 7,58 e 7,53 respectivamente e no período seco 7,12 e 7,05. Durante o período chuvoso (Dezembro a Maio) foram registrados valores mínimos 5,14 e máximos de 8,70, enquanto que no período seco (Junho a Novembro) estes valores estiveram entre 4,72 e 7,86 nos três pontos de amostragem.

Os testes de hipótese não revelaram diferenças estatisticamente significativas dessa variável para os períodos seco e chuvoso (hipótese H_1 rejeitado). O teste t de Student para os pontos 01 e 02 e o teste de Mann Whitney para o ponto 03 apresentaram baixa significância em para $\alpha=5\%$ através dos p-valores ($p=0,68$ -PT 01; $p=0,23$ -PT 02 e $p=0,22$ -PT 03). Da mesma forma que o teste de Mann Whitney não observou diferenças de pH nas diferentes condições de maré, apresentando um p valor (0,4712) maior que o nível de significância de 0,05.

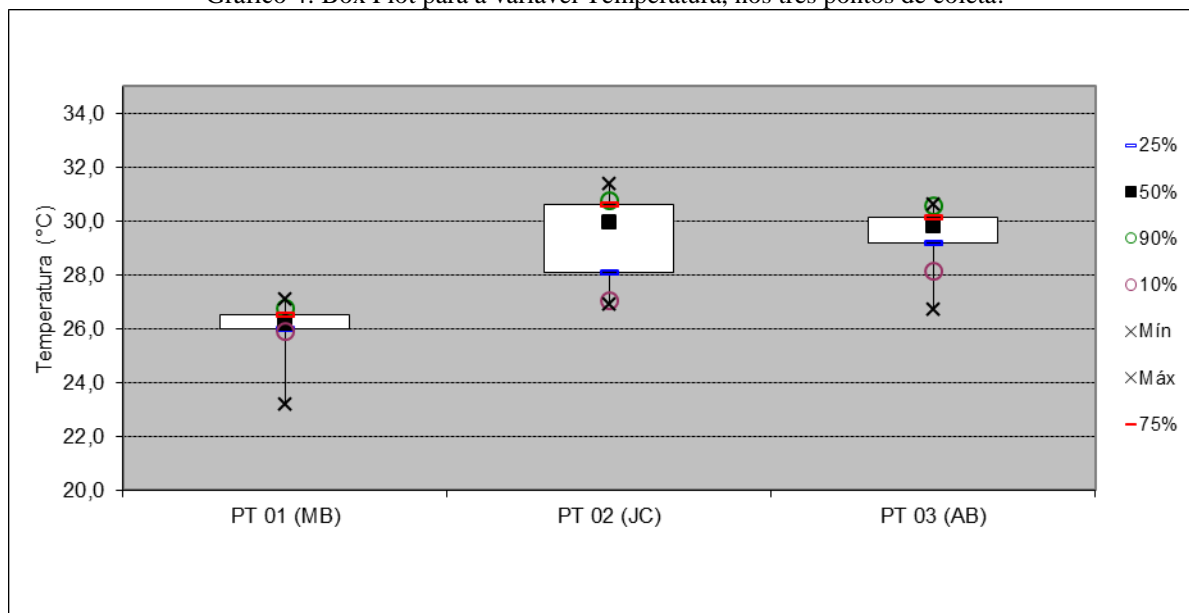
Lopes (2008), ao realizar estudo em um canal urbano na cidade de Belém- igarapé Mata Fome, observou que as águas apresentam características ácidas ao longo de nove pontos de amostragem, desde a primeira bifurcação do curso d'água até a sua foz com a Baía do Guajará, semelhantes aos valores encontrados no canal São Joaquim, com valores máximos e mínimos de pH que variaram entre 6,8 a 7,1 no período chuvoso e 6,4 a 6,7 no período seco, estando todos os valores de acordo com a resolução CONAMA n° 357/05.

Da mesma forma, Medeiros (2012) ao avaliar a qualidade dos Rios Murucupi e Arapiranga localizados nos municípios de Abaetetuba-PA e Barcarena-PA, observou águas com características ácidas, com uma variação de pH de 4,8 a 8,1 no período chuvoso e 4,8 a 7,6 no período seco no rio Arapiranga. Já no Rio Murucupi as variações foram de 6,1 e 7,2 no período chuvoso e 5,6 e 7,1 no período seco.

6.1.2 Temperatura

O Gráfico 4 apresenta a variabilidade dos valores de Temperatura nos três pontos distribuídos ao longo do Canal São Joaquim durante os doze meses de coleta.

Gráfico 4: Box Plot para a variável Temperatura, nos três pontos de coleta.



Fonte: Autora (2016)

Ao longo dos doze meses, a temperatura da água do Canal São Joaquim mostrou-se estável nos pontos de coleta, com média de 28 °C, máximas de 31 °C e mínima de 24 °C, com variações de 3 a 4 °C entre o primeiro e o último ponto no sentido nascente-foz. As temperaturas observadas estiveram bem próximas da temperatura ambiente, de acordo com a o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para relativo ano de 2014 e janeiro de 2015.

O ponto 01 destacou-se por apresentar valores de temperatura mais baixos, esse fato está relacionado às condições de sombreamento aos cursos d'água, devido à preservação da vegetação nativa, o que dificulta a penetração de raios solares.

O ponto 02 apresentou a maior variação entre os valores máximos e mínimos (amplitude igual a 4,5), com máxima de 31,4°C e mínima de 26,9°C.

Na comparação sazonal, durante o período chuvoso (Dezembro a Maio), o ponto 01 apresentou média de 25,65 °C e os pontos 02 e 03 28,65 e 28,78°C respectivamente. No período seco, o ponto 01 apresentou o valor médio igual a 26,10, o ponto 02 e o ponto 03 30,18 e 29,15.

O teste t de Student revelou que no ponto 02 não houve uma diferença significativa de temperatura na comparação sazonal (hipótese H_1 rejeitada), apresentando um baixo nível de

significância para $\alpha=5\%$ (p valor= 0,2895). Por outro lado, o teste de Mann Whitney revelou que nos pontos 01 e 03 houve diferenças de temperatura entre os períodos seco e chuvoso (hipótese H_0 rejeitado), apresentando bom nível de significância para $\alpha=5\%$ (p valor= 0,0446 para o ponto 01 e p=0,0198 para o ponto 03).

Veronez (2011) observou no Igarapé Praquiçara no município de Castanhal-PA, que os menores valores de temperatura foram obtidos nos pontos de coleta próximos à áreas com predominância de floresta, com média de 23,1 °C e os maiores valores encontrados em pontos localizados em áreas com predominância de ocupação urbana, com média de 32,9°C. Buzelli e Santino (2013) registraram valores médios de temperatura de 20,9°C no período seco e 29,66°C no período chuvoso, no reservatório de Barra Bonita-SP.

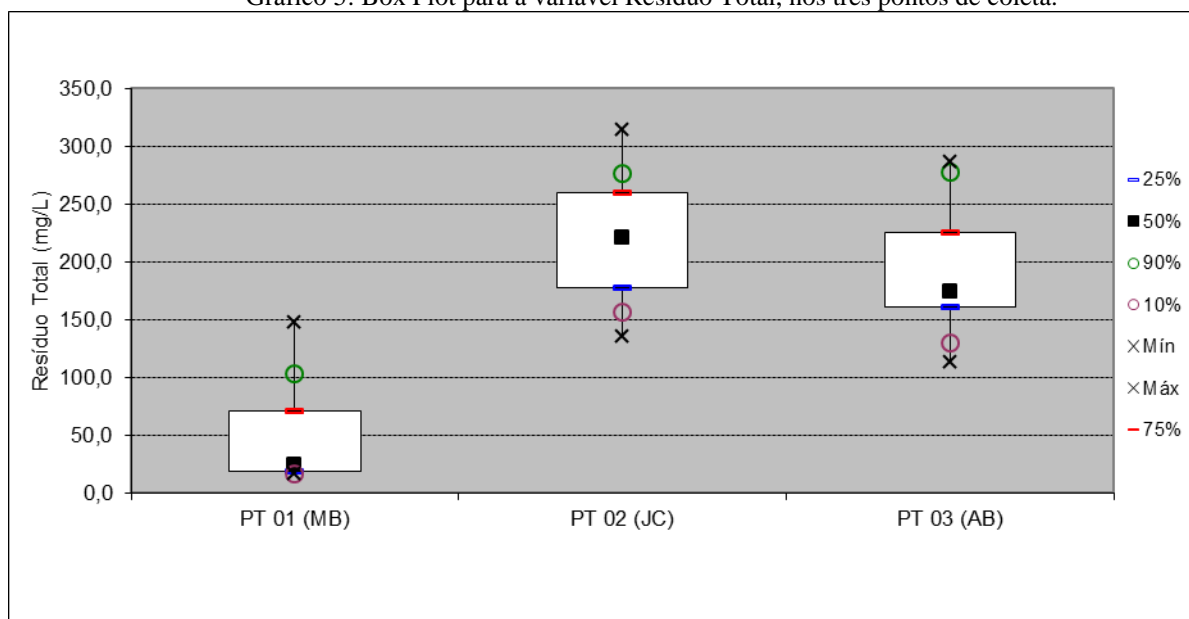
Em estudo realizado em rios Amazônicos Arapiranga e Murucupi Medeiros (2012) verificaram que a temperatura no Rio Murucupi variou entre 26 a 30°C, com média de 28°C no período chuvoso e 29°C no período seco. E no rio Arapiranga a variação foi de 26 a 29°C, com média de 26°C no período chuvoso e 27°C no período seco.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece limite para temperatura nos corpos d'água, no entanto estabelece que para lançamento e efluentes, a variação de temperatura no corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura. Nesse caso, como não foi avaliado neste trabalho o lançamento de efluentes, a temperatura da água é comparada à temperatura ambiente.

6.1.3 Resíduos totais (RT)

O Gráfico 5 apresenta a variabilidade dos valores de Resíduos Totais nos três pontos distribuídos ao longo do Canal São Joaquim durante os doze meses de coleta.

Gráfico 5: Box Plot para a variável Resíduo Total, nos três pontos de coleta.



Fonte: Autora (2016).

O canal São Joaquim apresentou uma variação significativa nos valores de resíduos totais observados, principalmente entre o ponto de nascente (ponto 01) e os outros dois pontos (pontos 02 e 03). No ponto 01, a média dos valores registrados foi de 53,33 mg/L com máxima de 148,30 mg/L no mês de Dezembro de 2014 e mínima de 16,30 mg/L no mês de Fevereiro/2014.

Todos os valores encontrados nos pontos 02 e 03 estiveram acima de 100 mg/L, com média de 224,04 mg/L no ponto 02 e 199,38 mg/L no ponto 03.

O ponto 02 apresentou a maior amplitude (178,6), com máxima de 314,5 mg/L e mínima de 135,9 mg/L.

O ponto 01 apresenta concentrações de resíduos totais relativamente baixas quando comparadas aos pontos 02 e 03. Os valores encontrados foram abaixo de 100 mg/L, com exceção dos meses de Dezembro/2014 (148,30 mg/L) e Janeiro/2015 (107,20 mg/L). Com base em algumas informações de Von Sperling (2008), esse registro pode ser explicado pela localização do ponto em uma área de maior cobertura vegetal, o que aumenta a interceptação da água precipitada e reduz o escoamento superficial. Essas baixas concentrações podem ser justificadas também pelo baixo nível de erosão, provavelmente por estar em uma bacia hidrográfica com relevo relativamente plano e regular e também pela ausência do uso e ocupação do solo (urbanização) (CARVALHO, 2011), diferente dos pontos 02 e 03 que estão localizados em áreas densamente urbanizadas, onde é visível o lançamento de esgotos e resíduos sólidos no canal, e a lixiviação dos terrenos próximos que são fatores que contribuem

em grande parte para o aporte de resíduos na água. Estes fatores apontam que quanto maior for a atividade antrópica maior será a poluição gerada nos recursos hídricos.

A Resolução CONAMA nº357/2005 estabelece o limite máximo permitido de 500 mg/L para o parâmetro Resíduo Total para águas doces classes 2, estando todos os valores encontrados, de acordo com a legislação.

No período chuvoso (Dezembro a Maio) foram registrados valores mínimos e máximos de 16,30 e 314,50 mg/L, enquanto que no período seco (Junho a Novembro) 20,00 mg/L e 286,80 mg/L. No período chuvoso, os valores médios registrados foram de 54,93; 217,03 e 193,50 mg/L para os pontos 01, 02 e 03 respectivamente. Enquanto as médias registradas no período seco (Junho a Novembro) foram de 51,73; 231,03 e 205,25 mg/L nos pontos 01, 02 e 03 respectivamente.

Os testes de hipótese não revelaram diferenças significativas de Resíduos Totais entre os períodos seco e chuvoso (hipótese H_1 rejeitada). O teste t de Mann Whitney foi aplicado no ponto 01 e apresentou baixo nível de significância para $\alpha=5\%$ através do p valor ($p=0,47$). Nos pontos 02 e 03, o teste t de Student apresentou baixo nível de significância para $\alpha=5\%$ através dos seus p valores ($p=0,58$ -Pt 02 e $p=0,81$ Pt 03). Em relação à variação de maré no ponto 03, o teste t de Student mostrou as concentrações de resíduos totais não sofreram mudança significativas, através do p valor igual a 0,8573 (maior que o nível de significância de 5%).

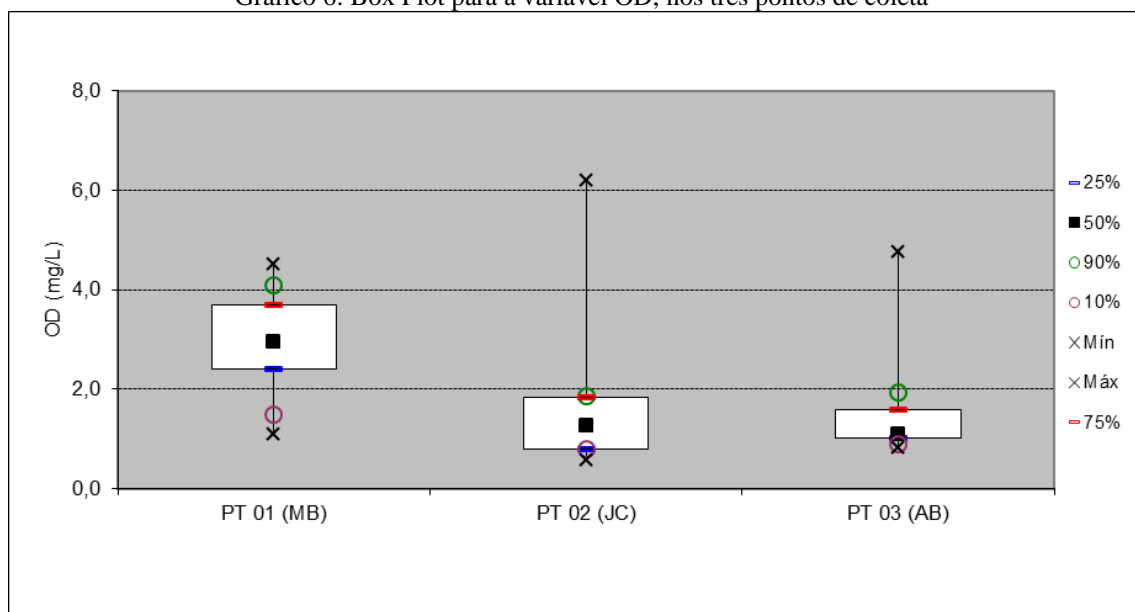
Veronez (2011) observou no Igarapé Praquiçara uma variação diferente nas concentrações de resíduo total. Os maiores valores encontrados, se referiam aos pontos localizados nas áreas próximas às nascentes (média de 19,5 mg/L), e os menores valores foram encontrados em áreas urbanizadas (média de 11,8 mg/L).

Alves *et al* (2012) ao avaliar 3 trechos do rio Arari na ilha do Marajó-PA, registraram concentrações médias de resíduos totais iguais a 221 mg/L no período seco e 101 mg/L no período chuvoso.

6.1.4 Oxigênio Dissolvido (OD)

O Gráfico 6 apresenta a variabilidade dos valores de OD nos três pontos distribuídos ao longo do Canal São Joaquim durante os doze meses de coleta.

Gráfico 6: Box Plot para a variável OD, nos três pontos de coleta



Fonte: Autora (2016).

Ao longo do Canal São Joaquim, os valores de OD observados apresentaram concentrações muito baixas. No ponto 01, durante todo período de amostragem o valor médio de OD encontrado foi de 3,1 mg/L, com mínimo de 1,1 mg/L no mês de Março e máxima de 4,5 mg/L no mês de Fevereiro. Os valores de OD nos pontos 02 e 03, apresentaram concentrações ainda menores, com média de 1,80 mg/L e 1,9 mg/L respectivamente.

A vazão segundo Barroso (2006) apud Veronez (2011) influencia nos valores de OD, dependendo das características físicas dos leitos dos rios. Quanto maior a vazão, maior a velocidade e maior o turbilhonamento causado na água, isso ocasiona incorporação de OD no corpo d'água. O ponto 01 apresenta baixa vazão, fato que pode justificar os baixos valores de OD observados neste ponto. Apesar disso, os valores registrados de OD ainda foram superiores aos observados nos pontos 02 e 03.

Os pontos 02 e 03, localizados em áreas mais urbanizadas, tiveram os piores valores de OD devido o lançamento direto de efluentes líquidos no canal e a deposição inadequada de resíduos sólidos às suas margens, além disso, esses dois pontos recebem descarga de águas tributárias que contribuem com uma grande carga de esgoto, contribuindo para a redução de níveis de OD. Sendo o ponto 02, o que apresentou maior amplitude (5,63), com máxima de 6,20 mg/L e mínima de 0,57 mg/L.

Os baixos valores de OD nos três pontos de amostragem do canal se devem a atividade microbiológica no processo de decomposição da matéria orgânica, que é responsável por

consumir o oxigênio da água. Concentrações muito baixas de OD afetam o funcionamento do ecossistema aquático e podem levar até à morte do corpo hídrico (VON SPERLING, 2008).

A Resolução CONAMA nº357/2005/MMA estabelece em seus Art. 15 VI e Art. 16 j) para águas doces classes 2 e 3, valores de OD não inferiores a 5 e 4mg/L respectivamente. No Canal São Joaquim apenas 2,7% dos valores estiveram de acordo com o padrão estabelecido pela legislação para águas doces classes 2 e 97% em desacordo. Enquanto que para o padrão classe 3, 13,88% estiveram de acordo e 86,11% em desacordo. Os valores de OD no Canal São Joaquim que estiveram abaixo do valor mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005/MMA para águas doces classes 2 e 3, se concentram basicamente nos pontos 02 e 03.

Na comparação sazonal, os pontos 02 e 03 registraram as menores médias tanto no período chuvoso (2,40 e 2,46 mg/L respectivamente) quanto no período seco (1,20 e 1,33 mg/L), com uma variação de 1 mg/L entre cada período. O ponto 01 registrou média de 3,15 e 3,09 nos períodos seco e chuvoso respectivamente.

Pelos testes de hipótese, os valores de oxigênio dissolvido não apresentaram diferenças significativas (hipótese H_1 rejeitada) entre os períodos seco e chuvoso. O teste t de Student foi aplicado no ponto 01 e apresentou um baixo nível de significância para $\alpha= 5\%$ através do p valor ($=0,95$). Nos pontos 02 e 03 foi aplicado o teste de Mann Whitney, que apresentaram baixos níveis de significância para $\alpha= 5\%$ através dos p valores ($p= 0,09$ - PT 02 e $p= 0,07$ -Pt 03). Esse mesmo teste de Mann Whitney, através do p valor ($p=0,748$) maior que o nível de significância de 0,05, revelou que no ponto 03, a variável OD não teve sofreu diferença significativa pelas condições de maré.

Veronez (2011) em seu estudo na microbacia do Igarapé Praquiçara no município de Castanhal-Pa, encontrou uma grande variação nos valores de OD (mínima de 1,2mg/L e máxima de 16,7 mg/L). Neste trabalho foi possível observar que os pontos localizados em áreas com preservação da vegetação apresentaram concentrações de OD maiores que os pontos localizados em áreas urbanizadas.

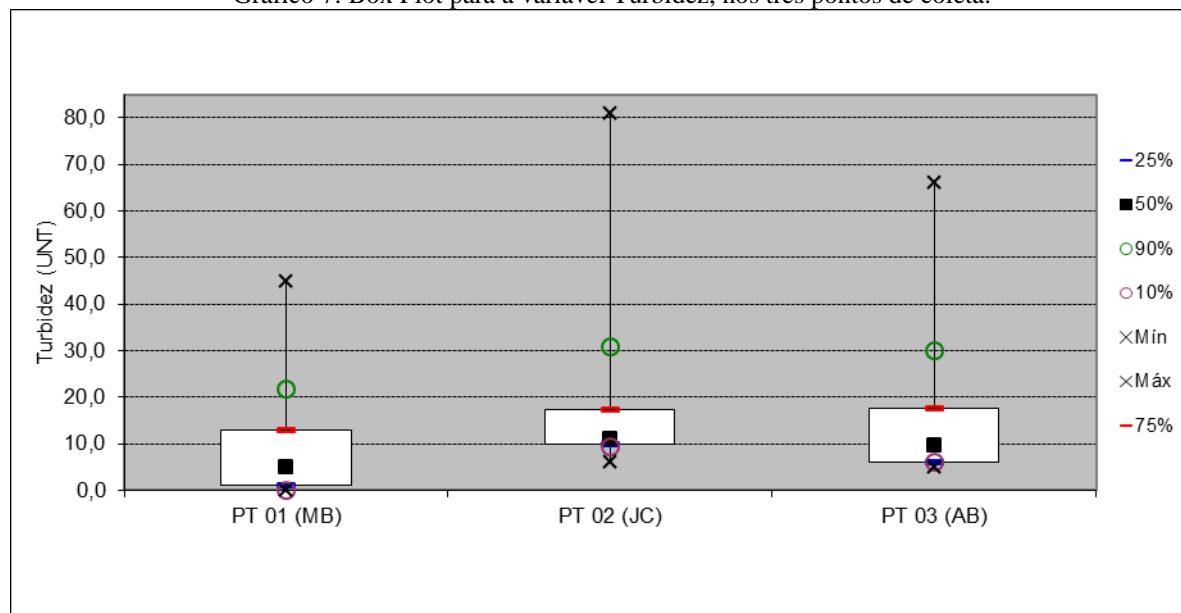
Siqueira *et al* (2012) observou no rio Parauapebas-PA, valores de OD que variaram entre 2,60 e 4,40 mg/L nos meses de Setembro dos anos de 2004, 2007 e 2009 ao longo de 20 pontos de amostragem.

No igarapé São Francisco, na cidade de Rio Branco-AC, Santi *et al* (2012) encontraram valores de oxigênio que variaram entre 0,8 e 5,0 mg/L entre os períodos seco e chuvoso ao longo de 5 pontos de amostragem.

6.1.5 Turbidez

O Gráfico 7 apresenta a variabilidade dos valores de Turbidez nos três pontos distribuídos ao longo do Canal São Joaquim durante os doze meses de coleta.

Gráfico 7: Box Plot para a variável Turbidez, nos três pontos de coleta.



Fonte: Autora (2016)

Nas análises realizadas, 61% dos valores estiveram entre 0 e 20 UNT e 39% entre 21 e 81 UNT. O ponto 01 foi o que apresentou a menor concentração durante todo o período de amostragem, enquanto as maiores concentrações foram encontradas nos pontos 02 e 03, sendo o ponto 02 o que apresentou maior amplitude (75), com máxima de 81 UNT e mínima de 6 UNT.

Os baixos valores de turbidez encontrados no ponto 01 se devem às condições de nascente em que esse ponto se encontra, onde é possível observar a preservação da vegetação nativa local e baixa vazão, observando pouco arraste de material suspenso. Enquanto que os elevados valores de turbidez nos pontos 02 e 03 são justificados pela localização em áreas densamente urbanizadas, com precárias condições de saneamento, sendo possível observar o lançamento *in natura* de efluentes domésticos e industriais diretamente no canal. Além disso, a ocorrência de chuvas, aliada à grande área impermeabilizada, proporciona o maior arraste de material suspenso para o canal.

O mês de Setembro apresentou os maiores valores de Turbidez para os três pontos de amostragem, fato que está diretamente ligado aos elevados valores de Sólidos Totais Suspensos também registrados nesse mês.

A Resolução CONAMA 357/2005/MMA estabelece o limite de 100 UNT para o parâmetro Turbidez nas águas doces classes 2 (Art. 15 IV e Art. 16 I I). Sendo os valores determinados ao longo do Canal São Joaquim desde sua nascente até sua Foz, de acordo com os valores máximos estabelecidos.

Fazendo a comparação sazonal para esta variável, não foi possível observar grandes diferenças entre os valores observados nos períodos seco e chuvoso. Entre Dezembro e Maio (período chuvoso) foram registrados valores mínimos e máximos de 0 a 23,6 UNT no Ponto 01; de 10 a 37 UNT no Ponto 02 e 6 a 66 UNT no Ponto 03. Enquanto no período seco (Junho a Novembro) estes valores estiveram entre 2,05 e 45 UNT no ponto 01; de 6 a 81 UNT no Ponto 02 e de 5 a 57 UNT no Ponto 03, com destaque para o mês de Setembro que registrou o maior valor de turbidez nos três pontos durante todo o período seco.

O teste de Mann Whitney revelou que não houve uma diferença significativa desta variável entre os períodos seco e chuvoso (hipótese H_1 rejeitada) para um nível de significância de 5%, como verificado através dos p valores ($p=0,19$ -PT 01; $p=0,52$ -PT 02 e $p=0,68$ -PT 03). Esse mesmo teste não observou variação de turbidez no ponto 03 para as diferentes condições de maré, apresentando um p valor maior que 0,05 ($p=0,8102$). O teste t de Student não observou diferenças de temperaturas nas diferentes condições de maré, apresentando um p valor (0,936) maior que o nível de significância de 0,05.

Em estudo realizado por Veronez (2011), no Igarapé Praquiquara no município de Castanhal-PA, os menores valores de turbidez foram encontrados no ponto mais próximo às nascentes, com média de 1,5 UNT e máxima de 3 UNT. O maior valor de turbidez observado (18 UNT) ocorreu em áreas urbanizadas durante o período chuvoso.

Damasceno *et al.* (2015) determinaram valores mínimos e máximos de Turbidez de 63,70 e 70 respectivamente no período chuvoso e 24,2 e 34,6 no período seco em 3 pontos de amostragem ao longo do Rio Amazonas na orla de Macapá, AM.

Moura (2007), determinou na Baía do Guajará no trecho entre os bairros de Val de Cães e o Distrito de Icoaraci em Belém/PA valores de turbidez com variações de 35 a 74 UNT no período chuvoso e no período seco essa variação foi de 14 a 22 UNT.

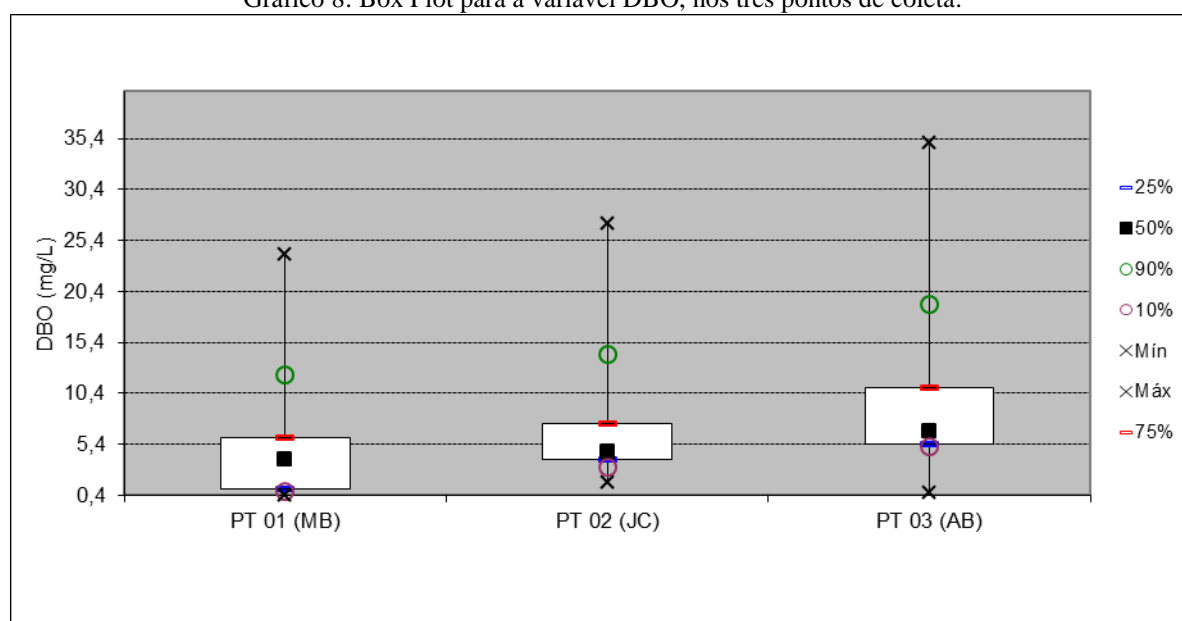
Um estudo realizado nos Igarapés Murucupi e Arapiranga localizados nos municípios Paraenses de Abaetetuba-PA e Barcarena-PA, respectivamente, Medeiros (2012) encontrou valores de turbidez mínima e máxima de 15 UNT e 38 UNT no período chuvoso e 13 UNT e 32 UNT no período seco, no Rio Arapiranga. Enquanto que no Rio Murucupi os valores

mínimos e máximos encontrados foram de 18 UNT e 47 UNT no período chuvoso e 22 UNT e 34 UNT no período seco.

6.1.6 Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO)

O Gráfico 8 apresenta a variabilidade dos valores de DBO nos três pontos distribuídos ao longo do Canal São Joaquim durante os doze meses de coleta.

Gráfico 8: Box Plot para a variável DBO, nos três pontos de coleta.



Fonte: Autora (2016).

Os resultados de DBO no canal São Joaquim revelaram oscilações ao longo dos pontos de amostragem durante os doze meses de observação. A concentração mais elevada foi registrada mês de Julho no ponto 03. Os valores médios de DBO nos pontos foram: 8,35; 11,36 e 13,18 mg/L respectivamente para os pontos 01,02 e 03. Sendo a maior amplitude observada no ponto 03 (34,3) com máxima de 35 mg/L e a mínima de 0,7 mg/L.

O Ponto 01 apresentou a menor média de DBO na mesma proporção que apresentou a maior média de OD (3,12 mg/L) ao longo de todo período de amostragem. Esses valores elevados de DBO podem ser justificados pelo processo de decomposição da matéria orgânica que em sua maioria é proveniente da matéria morta que cai das árvores.

O Ponto 03 apresentou os maiores valores de DBO em todo período de amostragem. Estes resultados estão diretamente ligados à interferência antropogênica proveniente do inadequado uso e ocupação do solo e do lançamento de efluentes e resíduos sólidos na margem e dentro do canal.

Os valores médios de DBO nos três pontos de amostragem apresentaram valores acima de 5 mg/L. A resolução CONAMA 357/05/MMA em seu Art. 15V i), estabelece para águas doces classe 2, valores de DBO não superiores a 5 mg/L. Portanto, 36,11% dos valores de DBO no Canal São Joaquim estiveram de acordo com o padrão classe 2 e 63,88% em desacordo. A maioria dos valores de DBO determinados e que não atenderam a legislação para águas classe 2 foi correspondente aos meses de Maio e Julho de 2014 nos três pontos de amostragem. Em contrapartida, os meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2014 e Janeiro de 2015 foram os meses em que os pontos de amostragem ficaram mais próximos dos valores estabelecidos na legislação.

Os valores médios de DBO durante o período chuvoso (Dezembro a Maio) foram de 8,90; 12,62 e 12,72 mg/L respectivamente para os pontos 01, 02 e 03. Enquanto que no período seco (Junho a Novembro) os valores médios foram iguais a 7,79; 10,11 e 13,65 mg/L.

Os testes de hipótese revelaram que não há diferença significativa (hipótese H_1 rejeitada) entre os períodos seco e chuvoso para a variável DBO. O teste t de Student foi aplicado para avaliar os três pontos de amostragem e apresentaram um baixo nível de significância para $\alpha=5\%$ através dos p-valores ($p=0,48$ -PT 01; $p=0,72$ -PT 02; $p=0,89$ PT03). O mesmo teste t de Student revelou que no ponto 03, a variável DBO não sofreu diferença significativa para as variações de maré, através do p-valor que mostrou-se maior que o nível de significância ($\alpha=0,05$).

A oscilação nos valores de DBO reforça as justificativas utilizadas para a variação de oxigênio dissolvido, através da dinâmica de oxigenação e desoxigenação que ocorre no corpo d'água através de fatores como: carga orgânica em decorrência principalmente do lançamento de efluente doméstico, os quais acabam por alterar a produção e consumo de OD no rio, ocasionando comportamentos distintos e iguais para a DBO.

Para efeito de comparação com o mesmo canal no ano de 2010, Carvalho (2011) encontrou elevados valores de DBO localizado em áreas urbanizadas (média de 39,44 mg/L) e baixas concentrações (0,05 mg/L) nos pontos próximos às nascentes, situados em áreas verdes que recebem pouca influência antropogênica.

Veronez (2001) realizou estudo na microbacia do Igarapé Praquiquara no município de Castanhal/PA, e encontrou valores médios de DBO que variaram respectivamente de 2,7 a 15,6 mg/L em área com predominância florestal, 0,5 a 10,8 mg/L em área urbana e 2,6 a 8,5 mg/L em área com predominância agropecuária.

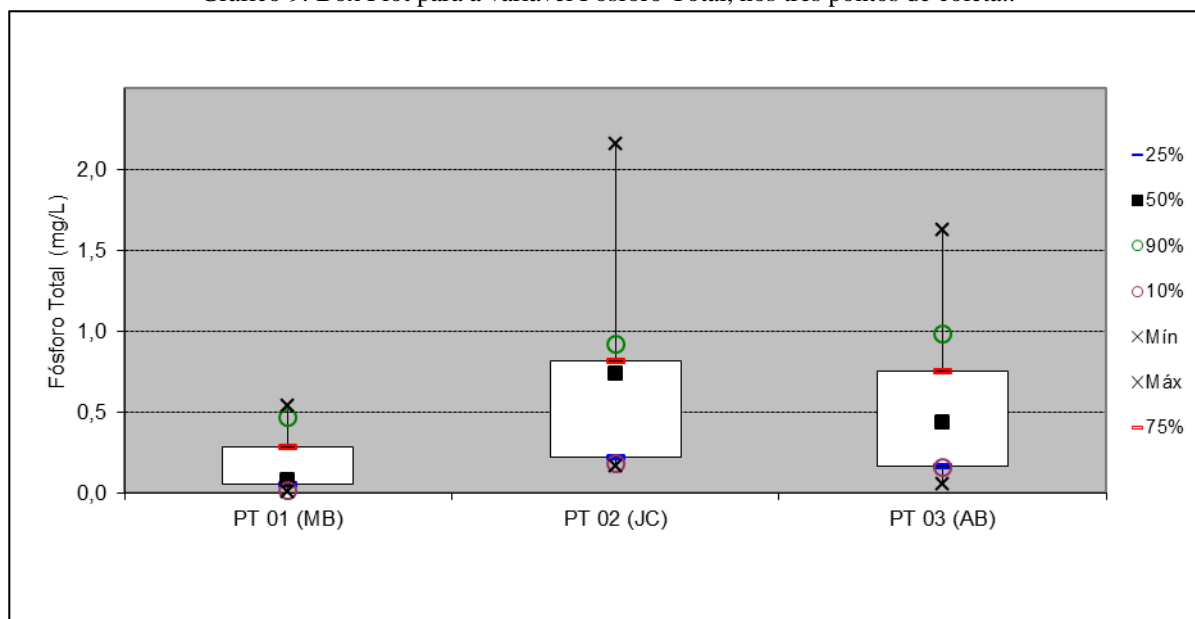
Siqueira *et al* (2012) ao avaliar a qualidade da água do rio Parauapebas, registrou valores de DBO com média de 3,83, mínima de 2,20 mg/L e máxima de 9,79 mg/L. Sendo as maiores concentrações registradas nos trechos de ocupação urbana, o que significa maior produção e lançamento de efluentes domésticos.

Santi *et al* (2012) observaram no igarapé São Francisco na cidade de Rio Branco-AC, diferenças de DBO5 ao longo dos 5 pontos de amostragem. A DBO encontrada na nascente do igarapé foi igual a 30 mg/L, enquanto no ultimo ponto (foz do igarapé) foi obtido um valor de 3,20 mg/L, mostrando a capacidade de autodepuração desse igarapé. Os autores observaram valores de DBO mais elevados no período seco em relação ao chuvoso.

1.6.7 Fósforo Total (PT)

O Gráfico 9 apresenta a variabilidade dos valores de Fósforo Total nos três pontos distribuídos ao longo do Canal São Joaquim durante os doze meses de coleta.

Gráfico 9: Box Plot para a variável Fósforo Total, nos três pontos de coleta..



Fonte: Autora (2016).

No monitoramento realizado na sub-bacia do canal São Joaquim, as maiores concentrações de fósforo total foram observadas no ponto 02 em nove, dos doze meses de amostragem, com média de 0,67 mg/L e a maior concentração registrada no Mês de Junho (2,16 mg/L). Esse ponto também registrou a maior amplitude (1,99) com máxima de 2,16 mg/L e mínima de 0,17 mg/L. Altas concentrações também foram registradas no ponto 03.

A presença de fósforo nestes dois pontos pode ter sido originada por meio da decomposição de matéria orgânica presente no esgoto que são lançados diretamente no canal, incluindo os esgotos industriais e da entrada de material particulado oriundas de drenagens tributáveis (como o Canal Água Cristal para o ponto 02).

O ponto 01 registrou os menores valores de fósforo total durante todo período de amostragem, com mínima de 0,01 mg/L e máxima de 0,54 mg/L. Esse ponto não recebe despejo de esgoto direto em suas águas, fato que pode justificar os baixos valores de fosforo encontrados.

A Resolução CONAMA nº357/2005 estabelece limites de 0,10 mg/L de fósforo total para ambientes lóticos e intermediários. Sendo possível observar que todos os valores registrados no ponto 02 estiveram em desacordo com a legislação e apenas 8% no ponto 03 e 50% no ponto 01 estiveram de acordo com a legislação.

Na comparação sazonal, os valores mínimos e máximos no período chuvoso (Dezembro a Maio) foram 0,17; 0,51 e 0,32 mg/L respectivamente nos pontos 01, 02 e 03. No período seco (Junho a Novembro) estes valores foram de 0,22; 0,83 e 0,74 mg/L respectivamente para os pontos 01, 02 e 03.

O test t de Student revelou através dos p valores ($p=0,47$ -PT 01 e $p=0,52$ -PT 02) que não houve diferença significativa de fósforo nos pontos 01 e 02 na comparação sazonal para um nível de significância de 5%. O teste de Mann Whitney também revelou que não houve diferença dessa variável nos períodos distintos, com p ($p=0,065$) maior que 0,05, da mesma forma que esse teste não observou diferença no ponto 03 para as diferentes condições de maré, através do p valor ($p=0,2571$) maior que o nível de significância de 5%.

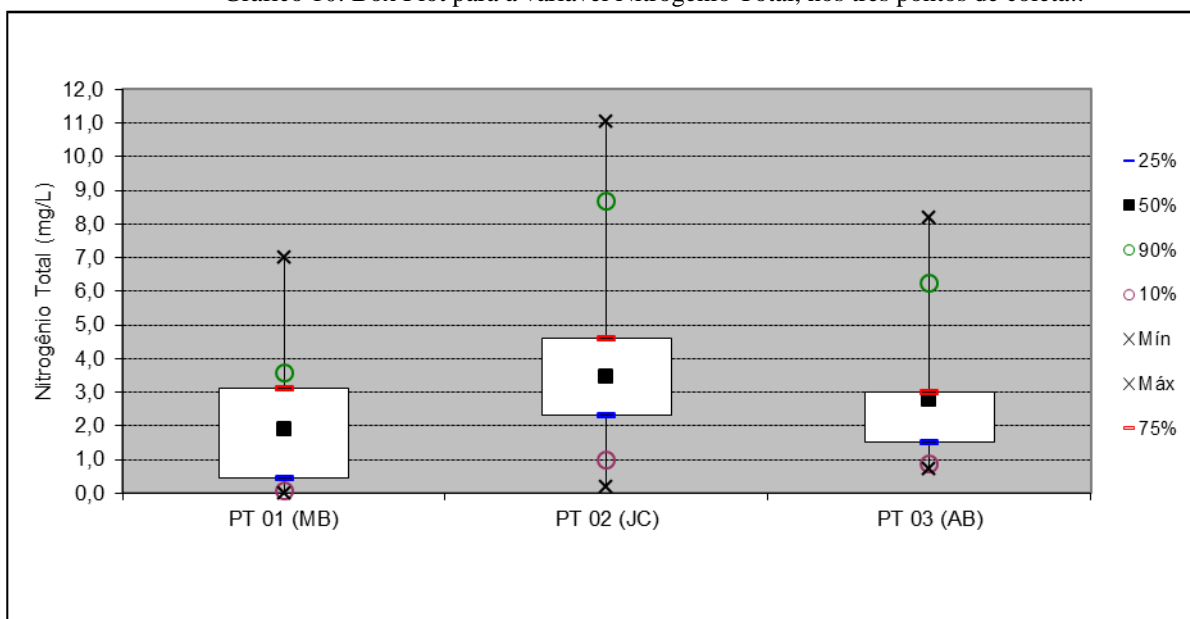
Siqueira *et al* (2012) registraram valores que variaram entre 0,05 e 0,15mg/L ao longo dos 20 pontos de amostragem no rio Parauapebas-PA, sendo possível observar que as menores concentrações foram determinadas nos pontos onde as águas possuíam suas características naturais mais preservadas.

Medeiros (2012) registrou no Rio Murucupi (Município de Abaetetuba-PA) concentrações máximas e mínimas de Fósforo Total iguais a 0,04 e 0,5 mg/L no período chuvoso e 0,01 e 0,08 no período seco. No Rio Arapiranga (no Município de Barcarena) as concentrações variaram entre 0,03 e 0,09 no período chuvoso, e no período seco os valores mínimos e máximos registrados foram de 0,01 e 0,08mg/L.

1.6.8 Nitrogênio Total (NT)

O gráfico 10 apresenta a variabilidade dos valores de Nitrogênio Total nos três pontos distribuídos ao longo do Canal São Joaquim durante os doze meses de coleta.

Gráfico 10: Box Plot para a variável Nitrogênio Total, nos três pontos de coleta..



Fonte: Autora (2016).

Os resultados de nitrogênio observados ao longo do Canal São Joaquim apresentaram uma grande variação ao longo do período de amostragem, sendo as maiores médias registradas nos pontos 02 e 03, e a maior amplitude registrada no ponto 02 (10,87) com máxima de 11,06 mg/L e mínima de 0,19 mg/L.

O ponto 01 registrou valor médio de 2,31 mg/L, concentração que pode ser justificada pela localização desse ponto próximo à nascente, onde há afloramento de água subterrânea (APHA, 1998 apud VERONEZ, 2011). Outra justificativa para os valores de nitrogênio encontrados nesse ponto é a decomposição de matéria orgânica oriunda de restos vegetais.

O ponto 02 apresentou valores de nitrogênio mais elevados em todo período de amostragem. A drenagem de águas pluviais, associada ao sistema deficitário de limpeza pública, constitui fonte difusa de nitrogênio, além disso, esse nutriente é encontrado facilmente no esgoto doméstico que é lançado diretamente no canal.

A Resolução CONAMA nº357/2005/MMA não estabelece limites para Nitrogênio Total para água classe 2, no entanto o § 3º do artigo 10º para águas doces de classes 1 e 2, determina o nitrogênio como fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor do nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 2,18 mg L-1 para ambientes lóticos, na vazão de referência. Nesse caso, 61% dos valores de nitrogênio estariam em desacordo com a legislação e apenas 38% de acordo.

No período chuvoso (Dezembro a Maio) foram registrados valores médios de 2,66; 3,87 e 3,84 mg/L respectivamente nos pontos 01, 02 e 03. No período seco (Junho a Novembro) estes valores estiveram foram de 1,96; 4,58 e 3,84 respectivamente.

O teste de Mann Whitney revelou que nos pontos 01 e 03 não houve diferença significativa de nitrogênio entre os períodos chuvoso e seco, através dos p-valores ($p=0,810$ -PT 01 e $p=0,93$ -PT 03) maiores que o nível de significância de 5%. O teste t de Student revelou que no ponto 02 também não houve diferença significativa de nitrogênio na comparação sazonal, apresentando o p-valor igual a 0,66. Em relação à variabilidade de nitrogênio para as condições de maré, o teste de Mann Whitney revelou que não houve diferença no ponto 03, através do p-valor igual a 0,34.

Medeiros (2012) observou no Rio Arapiranga (Barcarena-PA) valores mínimos e máximos de 0,1 e 0,6 mg/L, com média de 0,3mg/L, no período chuvoso e no período seco, os valores ficaram entre 0,1 e 0,3 mg/L, com média de 0,2 mg/L. E no Rio Murucupi (Abaetetuba-Pa) os valores de nitrogênio total ficaram entre 0,4 e 3,5 mg/L, com média de 1,1 mg/L no período chuvoso, enquanto que no período seco os valores ficaram entre 0,2 e 1,2 mg/L, com média de 0,5mg/L.

Veronez (2011) registrou as séries nitrogenadas no igarapé Praquiçara localizado no município de Castanhal-PA. Os valores médios em áreas florestadas foram de 0,09 mg/L (N-NH₃); 0,008mg/L (N-NO₂⁻) e 2,60 mg/L (N-NO₃⁻). E os valores médios registrados em áreas urbanas foram de 0,08 mg/L (N-NH₃); 0,009mg/L(N-NO₂⁻) e 0,4 mg/L (N-NO₃⁻).

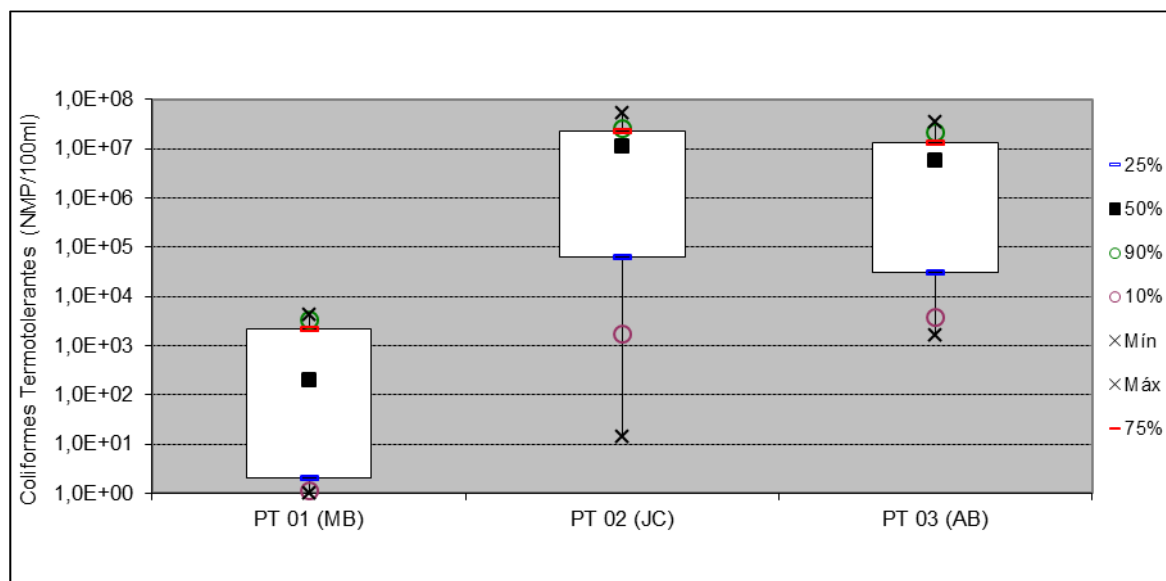
No igarapé São Francisco na cidade de Rio Branco-AC, ao longo de 5 pontos amostrais, Santi *et al* (2012) observaram valores médios de nitrogênio que variaram entre 2,0 a 10 mg/L nos períodos seco e chuvoso.

Observa-se que o aporte de nitrogênio para o Canal foi maior no período chuvoso, provavelmente pela lixiviação de material orgânico e incrementos de matéria nitrogenada autóctone em decorrência da maior precipitação neste período e também pelo lançamento de esgoto doméstico proveniente da área urbana entorno deste rio.

1.6.9 Coliformes Termotolerantes (CT)

O gráfico 11 apresenta a variabilidade dos valores de Coliformes Termotolerantes nos três pontos distribuídos ao longo do Canal São Joaquim durante os doze meses de coleta.

Gráfico 11: Box Plot para a variável Coliformes Termotolerantes, nos três pontos de coleta..



Fonte: Autora (2016).

Nas coletas realizadas nos doze meses, os valores de coliformes termotolerantes apresentaram oscilação nos três pontos de amostragem, contudo os valores mais elevados foram registrados nos pontos 02 e 03, locais com ocupação urbana. Sendo a maior amplitude observada no ponto 02 ($5,4 \times 10^7$) com máxima de $5,40 \times 10^7$ NMP/100ml no mês de Agosto. As menores concentrações de coliformes foram observadas no ponto 01, com valor mínimo (≤ 1 NMP/100mL) registrado no mês de Março.

As elevadas concentrações de coliformes termotolerantes presente no Canal São Joaquim são comparadas ao esgoto bruto, que possui valor em torno de 10^5 a 10^8 NMP/100mL (JORDÃO E PESSOA). Essa área é carente dos serviços de saneamento básico, fato que favorece o despejo de esgoto doméstico no corpo hídrico por parte da população. Essas concentrações elevadas contribuem para a degradação da qualidade da água na sub-bacia do canal São Joaquim, tendo influência direta no valor de IQA e comprometendo a qualidade de vida das comunidades que vivem às margens do canal devido o alto risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica.

A resolução CONAMA nº 357/05/MMA estabelece para águas doces classe 2 e 3 valores de Coliformes Termotolerantes não superiores 1000 NMP/100mL e 4000 NMP/100mL respectivamente. Dos valores de coliformes termotolerantes determinados no Canal São Joaquim, 22% dos valores determinados estiveram de acordo com o padrão classe 2 e 78 % em desacordo. Avaliando-se de acordo com o padrão classe 3, 42% desses valores se enquadraram e 58% estiveram em desacordo. Em decorrência de se ter valores de coliformes termotolerantes fora da referência estabelecida pela resolução CONAMA 357/05 para rios classe 2 e 3 (78% e 58% dos valores respectivamente), este recurso só pode ser utilizado para

Navegação e composição paisagística, não podendo ser utilizado para recreação, devido a grande possibilidade de ter a presença de agentes patogênicos.

Na comparação sazonal, as concentrações de Coliformes Termotolerantes no período chuvoso (Dezembro a Maio) apresentaram uma média $1,08 \times 10^3$; $9,04 \times 10^6$ e $5,85 \times 10^6$ respectivamente para os pontos 01, 02 e 03. No período seco (Junho a Novembro) esses valores foram $1,27 \times 10^3$; $1,93 \times 10^7$ e $1,17 \times 10^7$ NMP/100mL respectivamente para os pontos 01, 02 e 03.

O test t de Student não revelou diferenças significativas de coliformes entre os períodos chuvoso e seco para os três pontos de amostragem. Os p valores encontrados foram maiores que o nível de significância de 5% ($p=0,520$ - PT 01; $p=0,065$ - PT 02 e $p=0,065$). Da mesma forma que não foi verificada a diferença dessa variável no ponto 03 para as diferentes condições de maré, através do p valor igual a 0,748.

Análises anteriores nesse mesmo corpo hídrico revelam valores de coliformes com mínima de $1,4 \times 10^3$ NMP/100mL e máxima de $1,1 \times 10^4$ NMP/100mL nos pontos próximos à nascente, e valores iguais a $1,1 \times 10^6$ no ponto localizado em área urbana. (Carvalho, 2011)

No Igarapé Praquiquara, Veronez (2011) não observou a presença de coliformes termotolerantes em dois, dos três pontos de amostragem localizados em áreas próximas às nascente. No outro ponto, a média encontrada foi de 585 NMP/100mL. Em áreas urbanizadas, a média dos valores de coliformes encontrados foi de $6,9 \times 10^3$ NMP/100mL.

Lopes (2008) observou no igarapé Mata Fome, Belém-PA, valores máximos e mínimos de coliformes termotolerantes iguais a $4,2 \times 10^3$ a $1,1 \times 10^5$ NMP/100mL, no período chuvoso. Enquanto que no período seco, os valores variaram entre $3,9 \times 10^3$ a $9,3 \times 10^4$ NMP/100mL.

6.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

A análise de variância (ANOVA) permitiu a visualização de similaridade ou não, de cada variável, entre os pontos. As variáveis pH, Temperatura, OD, Resíduo Total, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes mostraram a similaridade entre os pontos 02 e 03 (grupo A) e diferença desses dois pontos em relação ao ponto 01 (grupo B), podendo-se considerar que as condições de nascente ainda preservam suas características naturais, não sendo afetadas por fatores que influenciam significativamente na variação dos parâmetros citados.

Já as variáveis DBO, Turbidez e Nitrogênio Total não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os três pontos de amostragem, podendo-se considerar que

a variação desses parâmetros ocorreu de forma semelhante nesses três pontos, inferindo-se que a presença de matéria orgânica (observada através das variáveis DBO e nitrogênio) já interfere na qualidade da água do ponto 01 (ponto de nascente).

6.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

A Tabela 14 apresenta a qualidade da água obtida para o período de doze meses, entre fevereiro de 2014 e janeiro de 2015. Em geral, é possível observar que o ponto 01 apresentou qualidade da água Boa e Regular durante o período de amostragem, enquanto os pontos 02 e 03 apresentaram qualidade da água, em sua maioria, classificada como Ruim.

O mês de Fevereiro classificou o índice de qualidade da água como Boa nos pontos 02 e 03 devido às elevadas concentrações de OD (registradas em relação aos outros meses de amostragem) observadas nesses pontos que elevaram o índice.

Tabela 15: Valores de IQA obtidos nos três pontos de amostragem entre Fevereiro de 2014 a Janeiro de 2015.

Estação Amostral	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN
PT 01	56	45	58	49	59	47	45	58	54	52	48	48
PT 02	61	51	33	25	31	24	31	24	30	26	28	32
PT 03	59	36	30	35	29	24	30	28	35	23	31	37

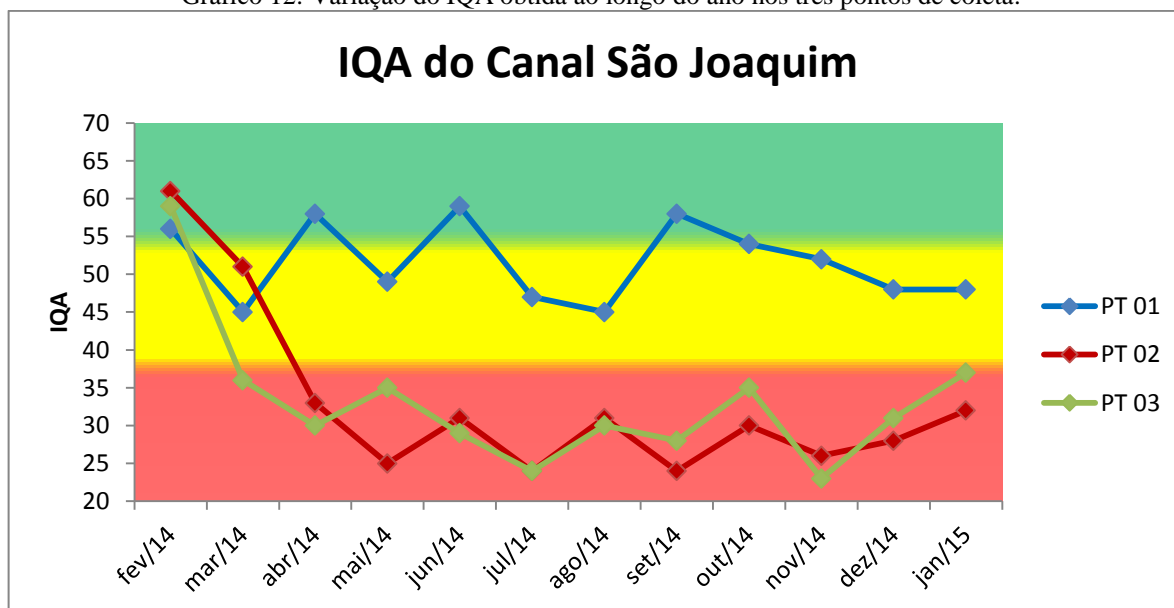
Legenda CETESB:	Ótima	Boa	Aceitável	Ruim	Péssima
-----------------	-------	-----	-----------	------	---------

Fonte: Autora (2016).

Baseando-se na classificação do IQA para os doze meses de coleta, verificou-se que a variação desses índices foi semelhante em relação às variáveis físico-químicas e microbiológicas observadas nos pontos de coleta. Assim, para todo o período de monitoramento, a qualidade da água nos pontos 02 e 03 apresentaram os piores resultados de IQA (média anual de 33 para os dois pontos, classificando a água com qualidade Ruim). O ponto 01 apresentou média anual de 51,5, classificando a água como de qualidade Aceitável. Esses resultados estão coerentes com a localização dos pontos, já que os pontos 02 e 03 referem-se à uma área densamente urbanizada que sofre influencia de fontes pontuais de contaminação por efluentes líquidos, enquanto que o ponto 01, tem sua qualidade mais preservada em relação aos outros dois pontos por se localizar próximo à nascente em área com preservação da vegetação nativa (Gráfico 12).

Ao avaliar o Canal como um todo, verifica-se que sua qualidade é classificada como Aceitável (com média geral anual igual a 39,2). Esse resultado deve-se à localização do ponto 01 que se encontra em área relativamente preservada. Todavia, se o canal fosse avaliado somente em relação aos pontos 02 e 03 esse corpo hídrico seria classificado como Ruim, já que o uso e ocupação do solo nesses dois pontos são os responsáveis pela degradação da qualidade da água.

Gráfico 12: Variação do IQA obtida ao longo do ano nos três pontos de coleta.



Fonte: Autora (2016)

Os IQAs obtidos nas águas do Canal São Joaquim revelaram condições diferentes de qualidade do Ponto 01 em relação aos pontos 02 e 03. A qualidade da água do ponto 01 apresentou-se 50% Boa e 50% Aceitável, sendo a qualidade Boa observada com maior frequência no período seco. O ponto 02 apresentou qualidade Ruim em 83% das amostras, sendo Boa no mês de Fevereiro e Aceitável no mês de Março. O mesmo ocorreu no ponto 03, onde apenas o mês de Fevereiro apresentou qualidade Boa e o mês de janeiro, Aceitável. Os meses chuvosos apresentaram melhoria na qualidade da água nos pontos 02 e 03.

Para efeito de comparação do IQA obtido no canal São Joaquim com o IQA modelo criado com base nos valores de referência da Resolução CONAMA nº357/2005/MMA para águas doces classes 2, 3 e 4, o canal estudado se enquadraria como classe 4, já que o IQA médio de todo canal foi igual a 39.

6.4 ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS

O primeiro procedimento realizado foi à análise descritiva das variáveis, sendo que os resultados obtidos foram utilizados posteriormente para a extração dos componentes principais através da análise multivariada. A Tabela 18 refere-se à estatística descritiva relativa às variáveis que foram utilizadas na análise.

Tabela 16: Estatística Descritiva das variáveis analisadas no Canal São Joaquim.

	pH	Temp.	ST	OD	Turbidez	DBO	PT	NT	Coliformes
Média	6,96	28,25	158,91	2,27	20,30	11,71	0,47	3,81	7,65E+06
Somatório ao quadrado das variáveis	1774,51	28880,09	12021,23	252,55	28309,31	8401,46	15,43	1041,04	7,79419E+15
Somatório das variáveis	250,69	1016,90	5720,90	81,71	730,85	421,68	16,79	137,19	2,75E+08
Variância amostral	0,82	4,44	8371,22	1,91	384,91	98,91	0,21	14,80	1,62485E+14
Desvio padrão das variáveis	0,91	2,11	91,49	1,38	19,61	9,94	0,46	3,84	1,27E+07

Fonte: Autora, 2016.

Após a análise descritiva dos dados, foi calculada a matriz de correlação para verificar se as variáveis estavam correlacionadas umas em relação as outras.

Para a certificação da consistência dos dados, o teste de esfericidade de Bartlett e a medida de adequacidade da amostra KMO foram empregados para verificar a validade dos dados. Os resultados de KMO (0,690) e de Bartlett (0,00) mostraram que os dados estão adequados para a análise, já que o valor de KMO esteve entre 0,5 e 0,9 e o teste de Bartlett foi inferior a 0,05.

Na análise dos dados foram extraídos 3 componentes principais que conseguiram sintetizar 67,53% dos dados, esses componentes foram extraídos segundo o critério de Kaiser (1960) em que os componentes principais devem possuir valores próprios acima de 1, conforme ilustrado na Tabela 19.

Tabela 19: Componentes principais gerados e a variância total explicada.

Componente	Valores próprios iniciais		
	Total	% de variância	% cumulativa
1	3,389	37,656	37,656
2	1,563	17,364	55,020
3	1,126	12,509	67,530
4	0,842	9,359	76,889
5	0,745	8,282	85,171
6	0,517	5,739	90,911
7	0,372	4,130	95,041
8	0,226	2,506	97,547
9	0,221	2,453	100,000

Fonte: Autora, 2016.

O componente Principal 1 foi o mais importante para o estudo, possuindo o maior autovalor (3,38) explicando 37,65% dos dados. O componente 2 foi responsável por explicar 17,36% dos dados e o Componente 3 respondeu 12,50%. As variáveis que explicam as componentes principais são aquelas que possuem significância maior que 0,5. Sendo a Componente Principal 1 explicada por: pH, Temperatura, Sólidos, Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes; a componente 2 explicada por Turbidez, DBO e Nitrogênio Total e a Componente 3 por Turbidez e DBO, conforme visualizado na Tabela 20.

Tabela 20: Matriz de Componente e suas respectivas variáveis.

	Componente		
	1	2	3
pH	0,677	0,116	0,304
Temp	0,751	0,262	-0,443
ST	0,870	0,237	0,088
OD	-0,563	-0,114	0,333
Turb	0,244	0,649	0,560
DBO	-0,287	0,623	-0,582
P-TOTAL	0,699	-0,330	-0,212
N-TOTAL	0,299	-0,693	-0,061
colif.	0,758	-0,115	0,133

Fonte: Autora, 2016.

Por apresentar um grande número de variáveis significativas em todos os componentes principais e dificultar a identificação das variáveis que compõem os componentes, foi necessária a realização da Rotação Varimax Normalizada com o objetivo de apresentar uma melhor visualização dos pontos, de forma que fiquem melhor representadas, mantendo a mesma representatividade no conjunto analisado.

Após a rotação Varimax Normalizada, foram extraídas 08 variáveis para explicar os três componentes principais e foram representados da seguinte forma:

Componente Principal 1- representado por Temperatura, Sólidos, Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes; Componente 2- representado por DBO e Nitrogênio Total; e Componente 3- representado por Turbidez, como pode ser visualizado na Tabela 21.

Tabela 21: Matriz de Componentes e suas respectivas variáveis após a Rotação Varimax.

	Componente		
	1	2	3
pH	0,459	0,332	0,493
Temp	0,899	-0,126	0,068
ST	0,746	0,207	0,470
OD	-0,663	0,032	0,001
Turb	0,033	-0,120	0,883
DBO	0,113	-0,885	-0,115
P-TOTAL	0,663	0,423	-0,152
N-TOTAL	0,195	0,620	-0,389
colif.	0,579	0,456	0,249

Fonte: Autora, 2016.

As três componentes explicam o comprometimento da qualidade da água do canal São Joaquim por ação antrópica.

A componente 1, que explicou a variabilidade dos dados em função do consumo de oxigênio para degradação química e/ou biológica da matéria orgânica e pela variação dos contaminantes fecais, foi responsável pela maior parte da explicação da distribuição espaço-temporal.

A componente 2, por sua vez, foi explicada pelas variáveis DBO e nitrogênio que estão associadas com poluição, indicando a existência de despejos orgânicos no meio hídrico e a componente 3 foi explicada pela turbidez, devido o escoamento superficial nas áreas urbanizadas.

Verificou-se também que as variáveis integrantes do componente 1, foram as mesmas que apresentaram a dissimilaridade do ponto 01 em relação aos pontos 02 e 03. Enquanto as variáveis que explicaram as componentes 2 e 3 foram aquelas onde observou-se a similaridade entre os 3 pontos de amostragem.

7 CONCLUSÃO

Com a análise dos resultados obtidos, pode-se considerar que, as variáveis de qualidade da água, analisadas, indicaram uma degradação do canal São Joaquim, pois na análise foi possível perceber que as mesmas estão em desacordo com a resolução CONAMA nº 357/2005. As variáveis que mais influenciaram para tal resultado foram: oxigênio dissolvido; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); nitrogênio total; fósforo total e coliformes termotolerantes, os quais indicam uma poluição por matéria orgânica. Os demais parâmetros (pH, turbidez, sólidos totais) apresentaram valores que estiveram dentro dos limites estabelecidos pela legislação, nos três pontos de amostragem.

As concentrações das variáveis de qualidade da água analisadas ao longo do ano, em sua maioria, não apresentaram variações significativas para os diferentes períodos (chuvoso e seco) com exceção da variável Temperatura para os pontos 01 e 03. Quanto a influência da maré nos resultados obtidos, é possível afirmar que não houve influência da mesma nos resultados do ponto 03. Avaliações essas confirmadas pelos testes de hipótese de Mann Whitney e teste t de Student.

Pela análise de variância (ANOVA) foi possível observar que as variáveis: pH, Temperatura, OD, Resíduo Total, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes mostraram a similaridade entre os pontos 02 e 03 (grupo A) e dissimilaridade desses dois pontos em relação ao ponto 01 (grupo B). Já as variáveis DBO, Turbidez e Nitrogênio Total não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os três pontos de amostragem, podendo-se considerar que a variação desses parâmetros ocorreu de forma semelhante.

Através da obtenção do Índice de Qualidade da Água para os pontos de amostragem no canal São Joaquim, foi possível caracterizar os pontos 02 e 03 como de qualidade “Ruim”, com IQA médio igual a 33 para os dois pontos. Já para o ponto 01 obteve-se o IQA média igual a 51, caracterizando como de qualidade “Aceitável”. Para tanto o IQA médio obtido, do Canal São Joaquim, desde sua nascente até sua foz, foi de 49 classificando-o como “Aceitável”. Ressalta-se que tal valor deve-se ao resultado obtido no ponto 01, este que por sua vez já vem sofrendo influência antrópicas através da expansão urbana nas proximidades.

Através da análise de componente principal foi possível observar a formação de 3 componentes, que juntos explicaram 67,53% da variabilidade dos dados. Componente Principal 1- representando 37,65% sendo explicado por: Temperatura, Sólidos, Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes; Componente 2- representado por

17,36% explicado por DBO e Nitrogênio Total; e Componente 3- representado por 12,50% explicado por Turbidez.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABELÉM, A. G. **Urbanização e remoção: por que e para quem? Estudo sobre uma experiência de planejamento nas baixadas de Belém.** Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém. 1982.

Agência Nacional de Águas- ANA. **Indicadores de Qualidade- índice de Qualidade das Águas (IQA).** Disponível em: <http://www.portalpnqa.ana.gov.br/indicadores>. Acesso em: 19 de out. de 2014.

ALVES, I. C. C., *et al.* **Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil).** Revista Acta Amazônica. Vol 42. Ano 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aa/v42n1/a14v42n1.pdf>. Acesso em: 15 de jan. de 2016.

ANDRADE, E. M., *et al.* **Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada.** Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.3, p.683-690, set./dez. 2007

BABAEI S., F.; HASSANI, A. H.; TORABIAN, A.; AR e HOSSEINZADEH LOTFI, F. **Water Quality index development using fuzzy logic: A case study of the Karron River of Iran.** Afr. J. Biotechnol. African Journal of Biotechnology. Vol 10 (50). September, 2011. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/article>. Acesso em: 19 de Out. de 2014.

BARROS, E. C. M. **Análise estatística multivariada de dados de qualidade da água da lagoa da Parangaba, Fortaleza, Ceará, Brasil.** 2011

BELÉM, Prefeitura Municipal de. **Parecer técnico sobre disposição de esgotos sanitários nos canais de drenagem das áreas baixas de Belém.** Belém, 1985.

_____. **Plano Estratégico Municipal para Assentamentos Subnormais. Parte II: Diagnóstico institucional município de Belém-Pará.** SEGEP. Belém, 2001.

BERTOSSI, A. P. A. *et al.* **Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada.** Seminário: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, set./out. 2013

BOLLMANN, H. A.; MARQUES, D. da M. **Bases para a estruturação de indicadores de qualidade de águas.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2000, v. 5, n. 1, p. 37-60.

BORDALO, A. A.; NILSUMRANCHIT, W.; CHALERMWAT, K. **Water Quality and Uses of the Bangpakong River (Eastern Thailand).** Wat. Res. 2001, v. 35, n. 15, p. 3635- 3642.

BORGES, Luciene. **Qualidade da água do Rio Vieira sob a influência da área urbana de Montes Claros/ MG.** 98 p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

BRAGA, E.S. *et al.* **Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista Estuarine System – Brazil.** Marine Pollution Bulletin, 40: 165-173. 2005

BRASIL. S. C. **Projeto de Macrodrenagem da Bacia do Una e Índice de Qualidade de Vida de seus moradores.** Dissertação de Mestrado- Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil/ UFPA. Belém-PA. 2004.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357/2005**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Oficial da União, 18 de março de 2005, p. 58-63.

BRAUD *et al.*, 2013 **Evidence of the impact of urbanization on the hydrological regime of a medium-sized periurban catchment in France.** Journal of Hydrology. Vol 485. P. 5-23. 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412003496>. Acesso em: 23 de set. de 2014.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. **Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP).** Ambi-Agua, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013. Disponível em: <http://www.dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.930>. Acesso em: 03 de jan. de 2016.

CAMARGO, A. F. M.; BINI, L. M.; SCHIAVETTI, A. **Avaliação dos impactos provocados pelas descargas de esgotos em alguns corpos d'água do município de Rio Claro.** Oecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro, v. 1, p. 395-406, 1995.

CARVALHO, J. R. F. **Avaliação da qualidade da água: um estudo na sub-bacia do Canal São Joaquim (Belém-Pa).** Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano. Universidade da Amazônia. Belém. 2011.

CAVINATTO, V. M. **Saneamento básico: fonte de saúde e bem-estar.** São Paulo: Ed. Moderna, 1992.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 1975.

CODEM, Companhia de Administração do Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém. **Plano de Recuperação de Baixadas: Programa de intervenção na Bacia do Una, reestruturação espacial.** Belém: PMB, 2000.

COELHO, F. R. **Caracterização físico-química, microbiológica e ecotoxicológica das águas dos canais de drenagem urbana de Santos (São Paulo, Brasil).** Dissertação de Mestrado. Universidade Santa Cecília. São Paulo. 2013

COMITESINOS. **Utilização de um índice de qualidade da água para o rio dos Sinos. Programa Integrado de Monitoramento da qualidade da água do Rio dos Sinos e seus afluentes.** 33p.1990.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental- CETESB. **Índice de Qualidade da Água**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 08 de out. de 2014.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental- CETESB. **Variáveis de qualidade das águas. Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 08 de out. de 2014

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental- CETESB **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras**.. Brasília- DF. 2011. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 12 de nov. de 2014.

CORRÊA, Antônio J. L. **O espaço das ilusões: planos compreensivos e planejamento urbano na Região Metropolitana de Belém**. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento) – NAEA/UFPA. Belém, 1989.

COSTA, R, *et al.* **Qualidade das águas superficiais de sete canais pertencentes à bacia do Uma em Belém (PA)**. II CONNEPI, João Pessoa, PB. 2007

DAMASCENO, M. C. S., *et al.* **Avaliação Sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil**. Rev. Ambient. Água vol. 10 n. 3 Taubaté – Jul. / Sep. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf>. Acesso em 08 de jan. de 2016.

DISPONÍVEL em <<http://www.tratabrasil.org.br/2015>>, acessado em 05 de Janeiro de 2015.

DISPONÍVEL em < <http://www.cidades.gov.br/2015>>, acessado em 05 de Janeiro de 2015.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- EPA. **The Lake and Reservoir Restoration. Guidance Manual**. Washington: First Ed., 1988. 321p.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro, Interciência: FINEP. 1988.

FERREIRA, A.I.R., SOUZA, A. M. M., SILVA, D. T. **Testes estatísticos para diagnóstico da normalidade de dados**. Anais do Conic-Semesp. Volume 1, 2013. Disponível em: <http://conic-semesp.org.br/anais>. Acesso em: 14 de Jan. de 2016.

FERREIRA, Carmena F. **Produção do espaço urbano e degradação ambiental: um estudo sobre a várzea do Igarapé do Tucunduba (Belém-Pará)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em geografia física do Departamento de geografia FFLCH/USP. São Paulo:1995.

FRANÇA, M. S. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade da água da bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para gestão de recursos hídricos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná- UFPR. [Internet], 2009. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br>. Acesso em : 13 de dez de 2014.

GUERRA, A.J; CUNHA, S. B. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2004.

HAASE, J.; POSSOLI, S. **Estudo da utilização da técnica de análise fatorial na elaboração de um índice de qualidade de água: comparação entre dois regimes hidrológicos diferentes, RS.** Acta Limnologica Brasiliensia, v.6, p.245-255, 1993.

HAIR JR, J. F., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L., BLACK, W. C. **Análise Multivariada de Dados.** Trad. Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. – 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAASE, J.; KRIEGER, J.A.; POSSOLI, S. **Estudo da viabilidade do uso da técnica fatorial como um instrumento na interpretação de qualidade das águas da bacia hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil.** Ciência e Cultura, v.41, p.576-582, 1989.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa>. Acesso em 23 de set. de 2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. **População Residente, por situação do domicílio e por sexo - 1940-1996.** Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censohistorico/1940_1996.shtm. Acesso em: 23 de set. de 2014.

Instituto Nacional de Meteorologia- INEMET. **Gráfico de Chuva acumulada x Número de dias com chuva.** Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php. Acesso em 05 de nov. de 2014.

JOHONSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis.** 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932p.

LE MOS, C. A. **Qualidade da Água de uma bacia hidrográfica inserida na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Maquiné, Rio Grande do sul, Brasil.** Dissertação de Mestrado em Ecologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos da Qualidade e Tratamento da Água.** 433p. Campinas, SP. Editora Átomo, 2008, 2ª edição.

LIMA, A. J. B.; COSTA, G. R. L. X; SOARES, L. P. C. **Avaliação do índice de qualidade da água (IQA) nos reservatórios com capacidade de acumulação de água acima de 5 milhões de metros cúbicos, monitorados pelo igarn na bacia hidrográfica Apodí-Mossoró/RN nos anos de 2005 e 2006.** Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Outubro, 2003. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/viiiiceb/pdf>

LOHANI, B.N.; MUSTAPHA, N. **Indices for water quality assessment in river: a case study of the Linggi river in Malaysia.** Water Supply and Managment, v.6, p.545-555, 1982.

LOPES, L. N. A. **Os impactos dos assentamentos informais nos recursos hídricos: caso da bacia hidrográfica do igarapé Mata Fome, cidade de Belém-Pa.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. 2008.

MARANHÃO, N. **Sistema de Indicadores para planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas.** Rio de Janeiro- RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro 2007. 395p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação de Engenharia.

MARDIA, K.V.; KENT, J. T. i BIBBY, J. M. **Multivariate analysis.** London: Academic, 1979.

MARINHA DO BRASIL. **Previsões de Maré.** Porto de Belém (Estado do Pará). Diretoria de hidrografia e navegação (dhn). Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/10520Jul2014.htm>. Acesso em 05 de nov. de 2014.

MEDEIROS, A. C. **Obtenção do IQA para Avaliação ds Qualidade da Água me Rios dos municípios de Abaetetura e Barcarena (PA).** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. 2012.

MELO, J. J. **SPIA: Sistema Pericial para aplicação e Análise de Índices Ambientais.** 5ª Conferência Nacional da Qualidade do Ambiente. Universidade de Aveiro. 1996.

MERCÊS, S. do S. S. das, et al. **Relatório ambiental da região metropolitana de Belém.** Belém: COHAB, 1997.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada.** Editora: UFMG. Belo Horizonte, 2005.

MIZUTORI, I. S. **Caracterização da qualidade das águas fluviais em meio Periurbano: o caso da bacia hidrográfica do Rio Morto – RJ.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

MORETTO, D. L. **Calibração do Índice de Qualidade da Água (IQA) para Bacia Hidrográfica do rio Pardo, Rs, Brasil.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Tecnologia Ambiental. Universidade de Santa Cruz do Sul. 2011.

MOURA, L. H. A., BOAVENTURA, G. R., PINELLI, M. P. **A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo_ bacia do Gama_Distrito Federal-** Quim. Nova, Vol. 33, No. 1, 97-103, 2010.

MOURA, E. M. **Mapeamento do halo de dispersão formado por efluentes industriais lançados na baía do Guajará no trecho compreendido entre o bairro de Val-de-Cães e o distrito de Icoaraci.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará. 2007.

MUNDSTOCK *et al.*, **Introdução a Análise Estatística, SPSS 13.0**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006

NONATO, E. A.; VIOLA, Z. G. G.; ALMEIDA, K. C. B.; SCHOR, H. H. R. **Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das águas da bacia do alto curso do rio das Velhas**. *Quim. Nova*, Vol. 30, N. 4, pp. 797-804, 2007.

PALÁCIO, H.A.Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PENTEADO, A. R. **Belém- Estudo de Geografia Urbana**. Coleção Amazônica. Série José Veríssimo. Vol 1. Universidade Federal do Pará. 1968.

PEREIRA, J. A. R. (Org). **Saneamento ambiental em áreas urbanas**. Belém: Biblioteca do Numa/EDUFPA, 2003.

PEREIRA, S. F. P. *et al.* **Utilização de sensores bioquímicos na avaliação de poluição hídrica (bacia do Una-Belém-Pa)**. Artigo científico. 1988.

PESCE, S. F.; WUNDERLIN, D. A. **Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba city (Argentina) on Suquia river**. *Water Research*. [online]. 2000, v. 34, n. 2, p. 2915-2926. PORTO, R. L. R. (Org). **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Edusp: ABRH, 1991.

PIMENTEL, M. A. S; SANTOS, V.C; SILVA, F. A. O; GONÇALVES, A.M. **A ocupação das Várzeas na cidade de Belém: Causas e Consequências socioambientais**. Revista Geonorte. Edição Especial. Vol2. 2012.

RACANICCHI, R. M. Z. **Influência da implantação de estação de tratamento de esgoto na recuperação da qualidade de curso d'água**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira. 2002

REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. (Org). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

REGO, A. G. **Avaliação da Sustentabilidade do uso da água na Bacia Hidrográfica do rio Ararandeuá: Estudo de Caso de Rondon do Pará**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará. 2009.

REIMANN, Clemens; FILZMOSE, Peter; GARRETT, Robert G.; DUTTER, Rudolf. **Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R**. Chichester: Wiley, 2008. 343 p.

SANTI, G. M., *et al.* **Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil**. Revista Ecología Aplicada, vol. 11(1). Ano 2012.

SANTOS, L. S., DIAS, M. C., ALVES, C.N. **A questão Ambiental do Canal São Joaquim: Um estudo de caso.** Anais XVI Encontro Nacional de Geógrafos. Porto Alegre-RS. 2010.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SANTOS, Viviane C. **Reconstrução da paisagem da Vila da Barca e suas implicações nas relações sociais dessa comunidade.** Belém, 2012. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geografia) – PPGeo/Ufpa.

SARGES, M. N. **Belém: riquezas produzindo a belle-époque (1870-1912).** Belém: Paka-Tatu, 2002.

SEGEP. Secretária de gestão e planejamento de Belém. **Bacia hidrográfica do Mata Fome.** CD Room. Belém. 2006.

SHOJI, H.; YAMANOTO, T.; NAKAMURA, T. Factor analysis on stream pollution of the Yodo River systems. **Air and Water Pollution**, v.10, p.291-299, 1966.

SILVA, A. **Política de Habitação População:** Urbanização das ocupações coletivas NUMA/Ufpa, 1997.

SILVA, D. F. **Utilização de indicadores biológicos na avaliação da qualidade da água da Baía do Guajará e do Rio Guamá (Belém-Pará).** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, 2006.

SILVA, G. S. da; JARDIM, W. de F. **Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia-SP.** *Quím. Nova* [online]. 2006, v. 29, n. 4, p. 689-694.

SILVA, K. R. M. **Sistema de Esgoto da Bacia do Una em Belém do Pará.** Belém: UFPA, TCC (Engenharia Civil). 2001.

SCIPIONI, A. et al. **The Dashboard of Sustainability to measure the local urban sustainable development. The case study of Padua Municipality.** *Ecological Indicators*, vol. 9, 2009.

SCHAFER, A. **Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais.** Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - GTz. (Alemanha). 1985

SHIELDS, D.; SOLAR, S., MARTIN, W. **The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability.** *Ecological Indicators*, vol.2, 2002.

SILVA, R. C. S.; ARAUJO, T. M. **Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA).** *Revista Ciência & Saúde Coletiva*. Rio de Janeiro. v. 8. n. 4. Jan, 2003.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, disponível em <<http://www.snis.gov.br/>>, acessado em 20 de Fev.de 2015.

SIQUEIRA, G. W., APRILE, F., MIGUÉIS, A. M. **Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará-Brasil)**. Revista Acta Amazônica. Vol 42 (3). 2012.

SOUZA, E.R. **Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola**. Lavras: UFLA, 1996. 91p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal / Manejo Ambiental).

SOUSA, L. A.; NASCIMENTO, R. M.; LIMA, R. F. **Caracterização preliminar das águas dos principais canais das bacias hidrográficas que deságuam na Baía de Guajará**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária). Departamento de Hidráulica e Saneamento. Centro Tecnológico. Universidade Federal do Pará. Belém. 2003.

SOUZA, E. R e FERNANDES, M.R. **Sub bacias hidrográficas, unidades básicas para o planejamento e gestão sustentáveis das atividades rurais**. EMATER- MG, 2014.

TARGA, M. S., *et al.* **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil**. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 7, n.2, 2012.

TOLEDO, L. G., NICOLELLA, G. **Índice de Qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano**. Revista Scientia Agricola, v.59, n.1, p.181-186, jan./mar. 2002

TRINDADE Jr., S. C. **Produção e uso do solo urbano em Belém**. Belém: NAEA/UFGPA, 1997.

TUCCI, C. E. M. **A urbanização e os recursos hídricos**. Livro Água Doce. Cap. 7 IPH/UFRGS, 2004. Disponível em : <http://www.abc.org.br>. Acesso em 16 de set. de 2014.

TUCCI, C. E. M. e MENDES, C.A **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, 302 p. 2006.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas. DOSSIÊ ÁGUA**. Scielo vol.22 n.63 São Paulo 2008.

TUCCI, C. E. M et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª ed, Porto Alegre. Editora da UFRGS/ ABRH. 2012

VARGAS, M. C. **O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental**. Revista Ambiente & Sociedade, Ano 2 – Nº 5, 1999

VERONEZ, B. P. **Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacias hidrográficas no Nordeste paraense, Amazônia oriental**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2011.

VICINI, L. **Análise Multivariada da teoria à prática**. Universidade Federal de Santa Maria-UFSC (RS), 215p. [Internet], 2005, Disponível em: <http://w3.ufsm.br/adriano/livro/Caderno>. Acesso em: 14 de dez de 2014.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de águas residuárias: Estudo e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2008.

WANG, X., LU, Y., HAN, J. H. E, Gui-zhen; WANG, T.. **Identification of anthropogenic influences of water quality of rivers in Taihu watershed.** *Journal of Environmental Sciences*, n. 19, p. 475-482, 2007.

ZHANG, X., et al. **Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong.** *Environ Monit Assess*, n. 173, p. 17-27, 2011.