



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE**

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA BIORREMEDIAÇÃO POR PERIFÍTON EM RIO URBANO

ARTUR HENRIQUE FREITAS FLORENTINO DE SOUZA



**João Pessoa-PB
Fevereiro de 2020**

ARTUR HENRIQUE FREITAS FLORENTINO DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA BIORREMEDIAÇÃO POR
PERIFÍTON EM UM RIO URBANO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Maria Cristina Basílio Crispim da Silva.

**João Pessoa-PB
Fevereiro de 2020**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S729a Souza, Artur Henrique Freitas Florentino de.
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA BIORREMEDIAÇÃO POR PERIFÍTON
EM UM RIO URBANO / Artur Henrique Freitas Florentino de
Souza. - João Pessoa, 2020.
198 f. : il.

Orientação: Maria Cristina Basílio Crispim da SILVA.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Biorremediação. 2. Rio Jaguaribe (João Pessoa-PB).
3. Qualidade da água. 4. Biofilme. 5. Percepção
Ambiental. I. SILVA, Maria Cristina Basílio Crispim da.
II. Título.

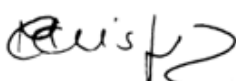
UFPB/BC

ARTUR HENRIQUE FREITAS FLORENTINO DE SOUZA

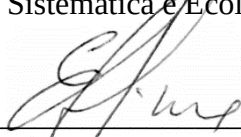
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA BIORREMEDIAÇÃO POR BIOFILME EM UM RIO URBANO

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA



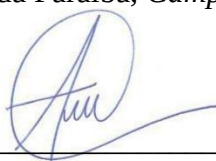
Profa. Dra. Maria Cristina Basílio Crispim da Silva – UFPB (Orientadora)
Departamento de Sistemática e Ecologia/CCEN/UFPB



Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima – UFPB (Examinador interno)
Departamento de Geografia/CCEN/UFPB



Prof. Dr. Thiago Leite de Melo Ruffo (avaliador externo a UFPB)
Instituto Federal da Paraíba, Campus de Cabedelo



Profa. Dra. Ana Carolina Figueiredo Lacerda (avaliador Externo)
Departamento de Sistemática e Ecologia/CCEN/UFPB



Profa. Dra. Raquel Franco de Souza (avaliador Externo Rede PRODEMA)
Departamento de Geologia /CCET/UFRN

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho a todos e todas
que foram importantes para a realização desta pesquisa,
bem como as pessoas que disponibilizaram do
seu tempo para me auxiliar na pesquisa
de campo, assim como aos ribeirinhos em conceder as entrevistas.*



*Dedico também a toda a minha Família, especialmente à:
Maria do Céu Azevedo Freitas de Souza (esposa),
Maria Eduarda Azevedo Freitas de Souza (Filha),
Eduardo Henrique Azevedo Freitas de Souza (Filho),
Maria Luísa Azevedo Freitas de Souza (Filha),
Meu pai, Valdemar Florentino de Souza Irmão e
À minha mãe, Louraci Freitas de Souza.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao nosso grande arquiteto, o todo poderoso, o nosso DEUS, por ter me apresentado à vida da melhor maneira possível, sempre colocando obstáculos para que eu possa superá-los e prosseguir, aprendendo sempre com os erros e conquistas. Muito obrigado, DEUS!

Agradeço também aos colegas Biólogos do LABEA Fabiana Marinho, Darlan Nóbrega, Gabriel Beltrão, Flávia Martins, Randolpho Marinho, e aos estagiários e estagiárias que contribuíram para o trabalho: Gabriel “Gavi”, Liz Aciolli, Lucas Santos, Paula Raiza e Eduarda Suassuna (esta, em especial, por estar comigo desde 2018, quando era voluntária) além das estagiárias do professor Randolpho - que me ajudaram muito no momento crucial de realizar as análises dos nutrientes do Rio Jaguaribe: Adah e Stephane.

Agradeço aos pescadores Daniel e Chivaldo, por toda a ajuda na construção dos módulos de bambu e na implantação dos módulos de cano PVC no Rio Jaguaribe nas intermediações das comunidades ribeirinhas, como também agradeço pela ajuda constante na limpeza dos aguapés nos locais dos experimentos.

Agradecimentos também às minhas cunhadas Maria de Lourdes, Maria da Salete e Maria de Fátima; a minha sogra dona Salete e ao meu cunhado Anchieta, pela ajuda, quando era necessário e possível, em cuidar das crianças enquanto resolvia os assuntos pessoais e do doutorado.

Agradecimentos ao professor Reinaldo Lucena, pela ajuda em conversas referentes ao doutorado, na disponibilização da sala do PRODEMA para triar os animais coletados e em apoio moral quando mais precisei em momento difícil da minha vida.

Agradecimentos aos professores Cláudia Cunha, Ilda Toscano e Pedro Viana, pelo empréstimo, calibragem do Horiba multiparâmetros, essencial para as análises físicas e químicas da água do Rio Jaguaribe.

Agradecimentos a Jane Torelli, do LABEA, pela disponibilização das salas do Biotério e da sua sala pessoal para que houvesse meios de desenvolver os trabalhos de triagem dos animais.

Agradeço a minha esposa, Maria do Céu, por me ajudar na triagem dos animais no Biotério (até quando soubemos que estávamos grávidos) e por suportar ao meu lado todas as adversidades por conta da minha depressão, por me dar suporte necessário para que eu não desistisse de mim, da minha família, do doutorado, sendo muitas vezes enérgica em momentos decisivos.

Agradeço à professora Kátia Bichinho e à equipe das Bichinhas (Carla, Jéssica, Larissa) por me ajudar no momento crucial de implantação dos experimentos de biotratamento na comunidade Tito Silva, com o projeto de extensão Ação Jaguaribe.

Agradecimentos especiais aos presidentes das Comunidades Tito Silva, Tatiana e Adão, pela articulação para que o contato com os moradores fosse possível, principalmente com o morador Sr. Antônio, que disponibilizou o seu quintal para que pudéssemos instalar o biotratamento por trás da CEIFA.

Aos presidentes da Comunidade São Rafael, Katiucha e Daniel, aos quais em nome deles agradeço a todos que ali residem, cruciais para o entrosamento dos pesquisadores com os moradores, fora o apoio nas questões do biotratamento e entrevistas.

Agradeço à minha terapeuta, a psicóloga Maria da Luz, por não me deixar desistir do doutorado no momento mais crítico que passei e mostrar outras vias que poderiam ser trilhadas por mim, enfrentando tudo. Ao Mestre de Capoeira, Antônio Guedes da Silva Junior

(Ligeirinho) e ao instrutor de capoeira Fabrício (Conga), ambos da Capoeira Brasil Paraíba, por deixar descarregar toda a tensão do doutorado, desde 2017, nas aulas dessa arte marcial totalmente brasileira.

Agradeço aos professores que fizeram parte tanto da banca de qualificação desta tese, quanto aos que compuseram a banca da defesa final, pelas considerações e sugestões para o aprimoramento deste presente trabalho. Sei que ainda surgirão novas mudanças para serem retificadas na versão final desta tese.

Ao Chico Pegado pelo empréstimo da luminária para eu poder triar o zoobentos e também pela correção dos nomes dos moluscos de acordo com as normas atuais.

Agradeço a Maria Marcolina Cardoso pela assessoria estatística na minha tese.

À Camioneta de Cristina/Daniel que, em todas as coletas e implantações de módulos de Biotratamento, estava lá, firme e forte, sempre “quebrando o galho”.

Agradeço muitíssimo à Pós Dra. CRISTINA CRISPIM, minha orientadora, pela sua simplicidade ímpar que me proporcionou e proporciona um bem-estar quando trabalho no laboratório de ecologia, quase como se eu estivesse em casa. E que mesmo nos momentos mais difíceis que passei (e passo) e que precisei de ajuda, ela sempre esteve ao meu lado... mesmo eu sendo “trabalhoso”.



Meus calorosos agradecimentos!

EPÍGRAFE

" Dizem que antes de um rio entrar no mar, ele treme de medo. Olha para trás, para toda jornada que percorreu, para os cumes, as montanhas, para o longo caminho sinuoso que trilhou através de florestas e povoados e vê à sua frente um oceano tão vasto, que entrar nele nada mais é do que desaparecer para sempre. Mas não há outra maneira. O rio não pode voltar. Ninguém pode voltar. Voltar é impossível na existência. O rio precisa aceitar sua natureza e entrar no oceano. Somente ao entrar no oceano o medo irá se diluir, porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano, mas de se tornar o oceano. "

Khalil Gilbran

RESUMO

Grande parte dos efluentes domésticos e industriais são lançados diretamente nos rios, reduzindo cada vez mais a disponibilidade dos recursos hídricos para a maioria dos usos, principalmente o uso humano, pois ocasiona a eutrofização, cujos efeitos são negativos para o ambiente aquático, principalmente na proliferação de macrófitas aquáticas; consumo e depleção de oxigênio dissolvido; liberação de gases e produção de maus odores; e a diminuição da biodiversidade local, dentre outros. A bioindicação utiliza-se de organismos que compõem um certo ambiente para caracterizá-lo e ser empregados conhecimentos quantitativos e qualitativos das comunidades biológicas, estas podem indicar a presença, ou não, de poluição no ambiente. O objetivo geral foi avaliar a eficácia do uso do biotratamento por perifíton em um rio urbano com elevado grau de poluição com o apoio e a percepção dos ribeirinhos; através de a) analisar a qualidade de água do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, em relação a parâmetros biológicos, físicos e químicos da água e do sedimento; b) Avaliar o uso do biotratamento no melhoramento da qualidade de água do Rio Jaguaribe; c) Avaliar a percepção dos ribeirinhos sobre a qualidade da água e usos do rio Jaguaribe antes e após o biotratamento. No primeiro, realizou-se o biomonitoramento utilizando macroinvertebrados bentônicos, de setembro de 2017 a outubro de 2018, em seis pontos de coleta. Para aferir o conteúdo de matéria orgânica das amostras de sedimento do Rio Jaguaribe, foi utilizado o Método de Calcinação. As análises físicas e químicas foram feitas com uma sonda multiparâmetros e amostras de água foram coletadas para as análises de Nitrogênio e Fósforo dissolvido. Para os macroinvertebrados bentônicos, foram feitas coletas de forma quantitativa com uma draga Van Veen e os animais coletados expressos em densidade e abundância relativa. A partir disso, utilizaram-se o índice BMWP juntamente com os índices de diversidade, de dominância e de equitabilidade, além da riqueza. Os estudos mostram a predominância de animais mais resistentes à poluição (larvas de quironomídeos e oligoquetos), indicando que o Rio Jaguaribe está classificado como Péssimo (Exceto no P3, onde a classificação foi “Ruim”, mesmo apresentando mais concentração de Oxigênio Dissolvido (máximo de $10,1 \text{ mg O}_2\text{L}^{-1}$) e foi registrada a maior diversidade ($H = 1,27$ de Shannon) em relação aos outros pontos. Em seguida, na segunda parte da tese, visando contribuir para a melhora da qualidade da água do Rio Jaguaribe, aplicou-se um biotratamento por biorremediação, utilizando-se o perifíton como remediador. Foram selecionados três Pontos para a implantação dos módulos de Biorremediação por perifíton: P1, no Oitizeiro; P3, na São Rafael; e P4 na Tito Silva. Cada módulo é formado por uma armação quadrada de canos PVC 50 mm, que servem como flutuadores, com dimensões de $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$, contendo cortinas de plástico cristal 15 mm que estavam arranjadas em 05 fileiras de $1,4 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$, uma ao lado da outra, paralelas e seguindo a direção da correnteza do rio. No P1, com 09 módulos no período chuvoso, 16 e 08 módulos, respectivamente, no P4 e P3, no período de estiagem, também no ano de 2019. Para avaliar o efeito do biotratamento, foram analisados parâmetros físicos e químicos da água, coletada a montante e a jusante dos módulos de biorremediação. Os resultados obtidos mostraram diferenças de forma significativa, a jusante nos três pontos, em que houve aumento significativo do Oxigênio Dissolvido e a redução nos valores da Condutividade Elétrica e do Fósforo. Houve também redução nos valores de Nitrato, Ortofosfato e Amônia, porém, não foram significativos. No entanto, para a terceira parte da tese, analisou-se a percepção dos moradores, seguindo-se um questionário semiestruturado e a entrevista foi gravada, com autorização prévia, sobre a atuação dos módulos de Biotratamento na qualidade da água do rio. Ao todo, foram realizadas 23 entrevistas. Após o biotratamento, os entrevistados revelaram que houve melhora na transparência da água, diminuição do odor, aparecimento de mais animais (aves e peixes), corroborados cientificamente por testes estatísticos que revelaram diferenças significativas quanto à diminuição do odor e na aprovação da biorremediação para a melhora da água.

Palavras-chave: Biorremediação, Rio Jaguaribe, Qualidade da água, Biofilme, Percepção Ambiental.

ABSTRACT

A large part of domestic and industrial effluents are discharged directly into rivers, increasingly reducing the availability of water resources for most uses, especially human uses, as it causes eutrophication, these effects are negative for the aquatic environment, especially in the aquatic macrophytes proliferation; consumption and depletion of dissolved oxygen; release of gases and production of bad odors; and the decrease in local biodiversity, among others. Bioindication uses organisms that characterize a certain environment to use quantitative and qualitative knowledge from biological communities, and these can indicate the presence, or not, of pollution in the environment. The general objective was to evaluate the effectiveness of the use of biotreatment by periphyton in an urban river with a high degree of pollution with the support of the perception of the riverside residents, through; a) to analyze the water quality of the Jaguaribe River, João Pessoa-PB, in relation to biological parameters, physical and chemical properties of water and sediment; b) Assess the use of biotreatment to improve the water quality of the Jaguaribe River; c) Assess the perception of social actors about the water quality and uses of the Jaguaribe River before and after biotreatment. In the first, biomonitoring was carried out using benthic macroinvertebrates, from September 2017 to October 2018, at six collection points. The Calcination Method was used to evaluate the organic matter content of the Jaguaribe River sediment samples. Physical and chemical analyzes were performed with a multiparameter probe and water samples were collected for the analysis of Nitrogen compounds and dissolved phosphorus. For benthic macroinvertebrates, quantitative collections were made with a van Veen dredge and the animals collected expressed in density and relative abundance. From this, the BMWP index was used together with the diversity, dominance and equitability indices, in addition to wealth's species. The studies show the predominance of animals more resistant to pollution (larvae of chironomids and oligoquetes), indicating that the Jaguaribe River is classified as Terrible (Except in P3, where the classification was "Bad", even with a higher concentration of Dissolved Oxygen (maximum 10.1 mg O₂.L⁻¹) and the greatest diversity ($H = 1.27$ of Shannon) was recorded in relation to the other points. In the sequence, the second part of this thesis, aiming to contribute to the improvement of water quality from the Jaguaribe River, biotreatment by bioremediation was applied, using the periphyton as a solution, three points were selected for the implementation of the Bioremediation modules: P1, in Oitizeiro; P3, in São Rafael and P4 in Tito Silva. Each module is formed by a square frame of PVC pipes 50 mm, which serve as floats, with dimensions of 1.5 m x 1.5 m, containing 15 mm crystal plastic curtains that were arranged in 05 rows 1.4 m x 0.5 m, side by side, parallel and following the direction of the river current. In P1, with 9 modules in the rainy season, 16 and 08 modules, respectively, in P4 and P3, in the dry season, also in 2019. To assess the effect of biotreatment, physical and chemical parameters of the water collected were analyzed upstream and downstream of the bioremediation modules. The results obtained showed, significantly, downstream differences at the three points, that there was a significant increase in Dissolved Oxygen and a reduction in the values of Electrical Conductivity and Phosphorus. There was also a reduction in the values of Nitrate, Orthophosphate and Ammonia, however, they were not significant. For the third part of the thesis, the perception of the residents was analyzed, followed by a semi-structured questionnaire and the interview was recorded, with prior authorization, about the performance of the Biotreatment modules in the quality of the river water. In all, 23 interviews were conducted. After biotreatment, the interviewees revealed that there was an improvement in the transparency of the water, a decrease in the odor, the appearance of more animals (birds and fish), scientifically corroborated by statistical tests that revealed significant differences in the reduction of odor and in the approval of bioremediation for improvement of water quality.

Keywords: Bioremediation, Jaguaribe River, Water Quality, Biofilm, Environmental Perception..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de autodepuração em um curso de água após lançamento pontual de efluentes.	27
Figura 2. Transformações do Nitrogênio na coluna de água e no sedimento aquático.	31
Figura 3. Exemplo de Macroinvertebrados bentônicos que podem ser usados como bioindicadores de qualidade da água.	36
Figura 4. Macroinvertebrados bentônicos utilizados como Indicadores para ambientes naturais a Impactados.	37
Figura 5. Etapas da formação do biofilme microbiano em um substrato consolidado e com umidade suficiente para sustentá-lo.	40
Figura 6. Representação, sem escala, da comunidade perifítica, aderidas a uma macrófitas aquática como substrato e o Fluxo de energia no ambiente aquático e a importância desta do fornecimento de Oxigênio Dissolvido pelo processo de Fotossíntese por parte das algas perifíticas.	41
Figura 7. Localização das duas unidades geomorfológicas do município de João Pessoa e Cabedelo, evidenciando o trajeto natural do Rio Jaguaribe.	49
Figura 8. Perfil longitudinal do Vale do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, desde da Nascente até a Foz.	50
Figura 9. Representação da Bacia do rio Jaguaribe, no município de João Pessoa-PB, e os respectivos pontos de coleta da água e do sedimento, além das estações meteorológicas de Marés (AESAs) e DAAFRAs (INMET).	55
Figura 1.1. Representação da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe, no município de João Pessoa-PB, e os respectivos pontos de coleta da água e do sedimento, além das estações meteorológicas de Marés (AESAs) e DAAFRAs (INMET). P1 – Jardim Guaíba (Oitizeiro); P2 – Ladeira do Varjão (Varjão), antes do Jardim Botânico Benjamim Maranhão; P3 – Comunidade São Rafael (Castelo Branco), logo a jusante do Jardim Botânico Benjamim Maranhão; P4 – Comunidade Tito Silva (Miramar); P5 e P6 – início e final do Bairro São José, respectivamente.	75
Figura 1.2 - Índice pluviométrico do município de João Pessoa-PB entre os meses de dezembro de 2017 a outubro de 2018.	79
Figura 1.3 – Médias das variáveis Limnológicas do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, entre os meses de setembro de 2017 a outubro de 2018.	81
Figura 1.4 – Média do Teor de matéria orgânica do sedimento do Rio Jaguaribe, município de João Pessoa-PB, entre os meses de setembro de 2017 a dezembro de 2018.	84
Figura 1.5. Resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) para o Biomonitoramento no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, entre os meses de setembro de 2017 a outubro de 2018, por agrupamento da Estação (Chuva e Seca). As letras a = mês amostrado; p = pontos; c = chuva; s = seca.	85

Figura 1.6 – Densidade dos Macroinvertebrados Bentônicos amostrados mais frequentes no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, por ponto, entre os meses de dezembro de 2017 a outubro de 2018.	87
Figura 1.7. Índices de diversidade de Shannon-Weaver (A), Dominância (B) e Equitabilidade de Pielou (C) dos macroinvertebrados bentônicos coletados no Rio Jaguaribe, município de João Pessoa-PB, de dezembro de 2017 a outubro de 2018.	92
Figura 1.8. Boxplot das medianas entre os Macroinvertebrados Bentônicos obtidos no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, por ponto, nas Estações Chuvosa e de Estiagem, entre setembro de 2017 a outubro de 2018.	93
Figura 1.9. Resultado da Análise de Correspondência Canônica (CCA) para o efeito das variáveis ambientais sobre o macroinvertebrados bentônicos (A) e índice de Diversidade (B) no rio Jaguaribe, João Pessoa-PB entre dezembro de 2017 a outubro de 2018.	101
Figura 2.1. Material e dimensões dos módulos de biorremediação utilizado no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, no ano de 2019.	113
Figura 2.2. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe, João Pessoa – PB, onde foram instalados os módulos de Biorremediação por perifíton. As setas vermelhas indicam os locais onde foram realizados os experimentos.....	116
Figura 2.3. Instalação dos módulos de Biorremediação (biotratamento) por perifíton no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, nas comunidades Jardim Guaíbas (P1), entre os meses de fevereiro a maio de 2019 e na São Rafael (P3) e Tito Silva (P4) entre os meses de setembro a novembro de 2019. As letras destacadas indicam a posição da implantação dos módulos durante o registro fotográfico.	117
Figura 2.4. Índice pluviométrico do município de João Pessoa-PB, com os dados das Estações meteorológicas DFAARA/INMET e de Marés/AESA, entre os meses de janeiro a novembro de 2019.	118
Figura 2.5. Média dos parâmetros a Montante e a Jusante dos módulos de Biorremediação por perifíton em três pontos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, em 2019. P1 em Oitizeiro, de fevereiro a maio; P3 na São Rafael e P4 na Tito Silva, de setembro a novembro. Os testes foram significativos nos pontos onde apresentam o valor da porcentagem “p”.	120
Figura 2.6. Resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) a montante e a jusante aos módulos de Biorremediação por perifíton no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, em 2019: a = amostragem; p = ponto de coleta; m = montante ao módulo; j = jusante ao módulo; c = chuva; s = seca.	124
Figura 3.1. Localização das Comunidades São Rafael (A) e Tito Silva (B) em João Pessoa-PB. As fileiras brancas no leito do Rio Jaguaribe representam a localização dos módulos de Biotratamento instalados e, em linhas amarelas, a área de concentração dos ribeirinhos entrevistados.	134
Figura 3.2. Reuniões realizadas nos aglomerados urbanos ribeirinhos São Rafael (P3) e Tito Silva (P4), às margens do Rio Jaguaribe, em João Pessoa-PB, antes da instalação dos módulos de Biotratamento por perifíton em 2019.	135
Figura 3.3. Idade e tempo de moradia dos ribeirinhos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB, de setembro a dezembro de 2019 (São Rafael – P3 e Tito Silva-P4). As letras M = Masculino e a F = Feminino.	138

Figura 3.4. Nível de Escolaridade dos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB, entrevistados de setembro a dezembro de 2019 (São Rafael – P3 e Tito Silva-P4).....	138
Figura 3.5. Usos e/ou atividades no rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, pelos ribeirinhos entrevistados em setembro a dezembro de 2019 (São Rafael – P3 e Tito Silva-P4).....	140
Figura 3.6. Impactos percebidos no Rio Jaguaribe, em João Pessoa-PB, pelos ribeirinhos entrevistados da São Rafael e da Tito Silva em 2019.....	141
Figura 3.7. Galeria de esgoto oriundo do bairro Miramar, João Pessoa, PB (A) passando por baixo das residências da comunidade Tito Silva, indicada pela seta amarela (B) esgoto proveniente da galeria indicada, sendo lançada diretamente no rio Jaguaribe, registrado em setembro de 2019, antes da instalação dos módulos de Biorremediação.	142
Figura 3.8. Destino dos efluentes domésticos dos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, em João Pessoa-PB, entrevistados em setembro a dezembro de 2019 (São Rafael – P3 e Tito Silva-P4).....	144
Figura 3.9. Retirada de Aguapés (<i>Eichhornia crassipes</i>), popularmente conhecido como “pastas” no Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB, nas margens da Comunidade Tito Silva, em novembro de 2019. (A) aguapés sendo amontoados na margem do rio para forrageio; (B) retirada manual, com o auxílio de uma jangada construídas por moradores locais.	145
Figura 3.10. Percepção dos ribeirinhos das comunidades São Rafael e Tito Silva, João Pessoa, PB, sobre os efeitos da dragagem na qualidade de água do Rio Jaguaribe.	146
Figura 3.11. Ação da dragagem no Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB. (A) retirada de lama e plantas aquáticas na Comunidade São Rafael em novembro de 2019; (B) sedimento aquático rico em matéria orgânica e nutrientes, principalmente Fósforo e Nitrogênio, deixado pela draga junto à margem direita do rio na margem na Comunidade São Rafael, em 2019 e (C) acúmulo de material dragado rico em matéria orgânica, na margem direita do Rio Jaguaribe, na comunidade Tito Silva.....	148
Figura 3.12. Percepção dos entrevistados das comunidades São Rafael e Tito Silva, João Pessoa, PB, sobre o gases malcheirosos oriundos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB.	149
Figura 3.13. Percepção dos ribeirinhos das comunidades São Rafael e Tito Silva sobre os gases mau cheirosos oriundos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, após a instalação dos módulos de Biotratamento.	152
Figura 3.14. Percepção dos ribeirinhos das comunidades São Rafael e Tito Silva sobre transparência da água do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, após a instalação dos módulos de Biotratamento.	153
Figura 3.15. Animais mais citados entre os ribeirinhos nas comunidades São Rafael e Tito Silva, ambos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB.	156
Figura 3.16. Notas atribuídas ao Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, pelos ribeirinhos entrevistados no início da moradia, antes do Biotratamento e após o Biotratamento por perifíton, entre os meses de abril e dezembro de 2019.	158
Figura 3.17. Diferença das notas atribuídas ao Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, ao iniciar a morada próximo ao Rio; antes e depois do biotratamento por perifíton: (A) São Rafael - P3; (B) Tito Silva - P4.....	159

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Anova e Teste t para as variáveis ambientais do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, pelo Método GLS: (A) Anova para a diferença entre os pontos de coleta e o Teste t para a diferença entre as estações seca e chuvosa, onde, em vermelho, diferenças que foram significativas, onde: F = valor do Teste; d.f. = grau de liberdade; p-value = probabilidade. (B) Médias e desvios-padrões, por ponto, com o teste de Tukey representado em letras sobrescritas, que, se iguais em pontos diferentes, nenhuma diferença significativa encontrada.....	82
Tabela 1.2. Autovalores e explicabilidade das dimensões (A) e Importância dos componentes (B) da PCA.	85
Tabela 1.3. Densidade (ind.m ⁻²) de macroinvertebrados bentônicos, por ponto, coletados no Rio Jaguaribe, município de João Pessoa-PB, entre dezembro de 2017 a outubro de 2018. A área da Draga de Van Veen (0,04 m ²)....	88
Tabela 1.4. Abundância relativa (%) e índice BMWP modificado de macroinvertebrados bentônicos, por ponto, obtidos no Rio Jaguaribe, município de João Pessoa-PB, entre dezembro de 2017 a outubro de 2018.	89
Tabela 1.5. Estatística referente à riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade dos Macroinvertebrados bentônicos coletados no Rio Jaguaribe João Pessoa, PB, pelo Método GLS, para a Anova na diferença entre os pontos de coleta e no Teste t para a diferença entre as estações seca e chuvosa. Em vermelho, foram significativos.	94
Tabela 1.6. Médias e desvios-padrões, por ponto, com o teste de Tukey representado em letras sobrescritas: (A) dos Macroinvertebrados bentônicos coletados n Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB; (B) da riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade. NA – não analisado. Letras iguais sobrescritas em pontos diferentes significam que não houve nenhuma diferença significativa entre eles.	94
Tabela 1.7. Autovalores e explicabilidade das dimensões e relação das variáveis do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB entre os meses de setembro de 2017 a outubro de 2018: (A) variáveis ambientais x macroinvertebrados bentônicos; (B) variáveis ambientais x riqueza, diversidade, equitabilidade e dominância dos macroinvertebrados bentônicos.	100
Tabela 2.1. Teste t para avaliação do efeito da biorremediação com biofilme em trechos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, no ano de 2019, a montante e a jusante dos módulos de biorremediação no P1 (entre os meses de fevereiro a maio) e no P3 e P4 (entre os meses de setembro a novembro).	121
Tabela 2.2. Autovalores e explicabilidade das dimensões (A) e Importância dos componentes (B) da PCA.	125
Tabela 3.1. Número de animais e grupos de animais citados pelos moradores entrevistados do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, na chegada ao rio para morar, antes do biotratamento e após o biotratamento.	154
Tabela 3.2. Resultado do teste de qui-quadrado para as citações de animais citados pelos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB.	157
Tabela 3.3. Resultado do teste de qui-quadrado para as citações de peixes pelos ribeirinhos entrevistados do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB.	157

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Bairros de João Pessoa-PB e de Cabedelo-PB em que o Rio Jaguaribe atravessa ao longo do seu curso e o trajeto percorrido pelo rio, em quilômetros.	49
Quadro 2. Parâmetros analisados no Laboratório de Ecologia Aquática/UFPB (LABEA)....	57
Quadro 1.1 Valores atribuídos às famílias de macroinvertebrados bentônicos a partir do índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) modificado por Junqueira e Campos (1998).	77
Quadro 1.2. Qualidade da água de acordo com o valor obtido no índice BMWP.	77

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1. Matriz de correlação entre variáveis ambientais e os macroinvertebrados bentônicos. (Valores em vermelho foram as correlações significativas) .	179
APÊNDICE 2. Média geral ($\pm$ desvio padrão) das variáveis por ponto no rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, de setembro de 2017 a outubro de 2018.	180
APÊNDICE 3. Médias, por ponto, das variáveis ambientais do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB e da pluviosidade desta cidade	181
APÊNDICE 4. Média geral dos Macroinvertebrados Bentônicos obtidos no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, entre setembro de 2017 a outubro de 2018.	182
APÊNDICE 5. Média geral ($\pm$ desvio padrão) dos Macroinvertebrados Bentônicos e dos índices Biológicos obtidos no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, por ponto.	183
APÊNDICE 6. Média dos Macroinvertebrados Bentônicos, por ponto, obtidos no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, na estação de chuvas e de Estiagem, entre os meses de setembro de 2017 a outubro de 2018.	184
APÊNDICE 7. Médias e desvios-padrões (em parênteses) a montante e jusante dos módulos de Biotratamento por perifíton no rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, por ponto, das Variáveis ambientais durante o ano de 2019.	185
APÊNDICE 8. Questionário semiestruturado sobre a percepção dos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, sobre o biotratamento.	186
APÊNDICE 9. Número de animais citados por grupo pelos entrevistados da São Rafael e da Tito Silva em 2019.	189
APÊNDICE 10. Número de animais citados por grupo pelos entrevistados da São Rafael e da Tito Silva em 2019, por ponto.	190
APÊNDICE 11. Invertebrados aquáticos do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, que estavam associados aos substratos artificiais para o perifíton que foram retirados dos módulos em fevereiro de 2020, na Tito Silva.	188
APÊNDICE 12. Retirada dos módulos de Biotratamento do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, no aglomerado Tito Silva no ano de 2020. (A, B, C) por trás da Associação dos Moradores local; (D) retirada de macrófitas para ter acesso aos módulos, encobertos por plantas; (E) plásticos com perifíton repleto de organismos decompositores por causa do sombreamento; (F) descarte dos plásticos na lixeira comunitária, para que seja coletada pela EMLUR.	193

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Classes de rios, de acordo com o CONAMA 357/2005..	195
ANEXO 2. Padrões de qualidade da água, de acordo com o CONAMA 357/2005.	196
ANEXO 3. ‘João Pessoa em Ação’ mantém em junho trabalhos de dragagem de rios e limpeza de galerias	197

SIGLAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

ANA - Agência Nacional da Águas

CAGEPA – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CMMA – Código Municipal do Meio Ambiente

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DFAARA – Delegacia Federal de Agricultura

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LABEA – Laboratório de Ecologia Aquática do Departamento de Sistemática e Ecologia

EMLUR - Empresa Municipal de Limpeza Urbana (Autarquia Especial Municipal de João Pessoa-PB)

PB – Estado da Paraíba

PMJP – Prefeitura Municipal de João Pessoa

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UTM - Universal Transversa de Mercator (sistema de coordenadas cartesianas bidimensional)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	19
2. HIPÓTESES.	22
3. OBJETIVOS..	22
3.1. Objetivo Geral.	22
3.2. Objetivos Específicos.	22
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
4.1. Água no Planeta Terra	23
4.2. Rios urbanos, impacto e autodepuração.	24
4.3. Qualidade da água	29
4.4. Biomonitoramento, índice biótico e macroinvertebrados bentônicos	34
4.5. Biorremediação (Biotratamento)	38
4.6. Biofilme e perifíton	39
4.7. Utilização do perifíton em substratos para biorremediação	43
4.8. Alterações nos rios urbanos de João Pessoa	46
4.9. Rio Jaguaribe	47
4.10. Áreas verdes e o Jardim Botânico Benjamim Maranhão	50
4.10. Percepção dos ribeirinhos	53
5. MATERIAIS E MÉTODOS	54
5.1. Área de estudo	54
5.2. Precipitação pluviométrica	56
5.3. Variáveis físicas e químicas da água	57
5.4. Tratamento estatístico	58
 CAPÍTULO 1. QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO DO RIO JAGUARIBE UTILIZANDO-SE OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES	 70
1.1. INTRODUÇÃO	73
1.2. MATERIAIS E MÉTODOS	74
1.2.1. Área de estudo	74
1.2.2. Matéria orgânica do sedimento aquático	76
1.2.3. Macroinvertebrados bentônicos	76
1.2.4. Tratamento estatístico	78

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
1.3.1. Variáveis ambientais	78
1.3.2. Macroinvertebrados bentônicos e BMWP	86
1.4. CONCLUSÃO	102
 CAPÍTULO 2. APLICAÇÃO DE BIOTRATAMENTO PELO PERIFÍTON NA MELHORIA DA QUALIDADE DE ÁGUA DO RIO JAGUARIBE	108
2.1. INTRODUÇÃO	111
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	113
2.2.1 Sistema de biorremediação (biotratamento)	113
2.2.2. Coleta de dados	114
2.2.3. Precipitação pluviométrica	118
2.2.4. Tratamento estatístico	119
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.	119
2.4. CONCLUSÃO.....	125
 CAPÍTULO 3. PERCEPÇÃO DOS RIBEIRINHOS SOBRE O RIO JAGUARIBE E O BIOTRATAMENTO POR PERIFÍTON	129
3.1. INTRODUÇÃO	132
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	133
3.2.1. Área de estudo	133
3.2.2. Entrevistas com os ribeirinhos	135
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	137
3.3.1. Sobre o uso do Rio Jaguaribe pelo ribeirinhos	139
3.3.2. Quanto ao mau cheiro (odor) do rio	149
3.3.3. Percepção sobre a transparência da água	152
3.3.4. Sobre peixes e outros animais	153
3.3.5. Nota atribuída ao Rio Jaguaribe pelos Ribeirinhos	158
3.4. CONCLUSÃO.....	160
 6. DISCUSSÃO GERAL	165
7. CONCLUSÃO GERAL	173
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	174
APÊNDICES	178
ANEXOS	194

1. INTRODUÇÃO GERAL

As ações antrópicas sobre o meio ambiente, sem a devida preocupação com as consequências que os impactos ambientais podem acarretar, demonstraram que, com perdas de recursos naturais, é necessário agir a fim de garantir a gestão do meio ambiente de forma sustentável. Há, no entanto, inúmeros exemplos de degradações e seus efeitos ao meio ambiente e ao ser humano, tais como contaminações e assoreamentos dos ambientes lóticos naturais, além de enchentes que ocasionam prejuízos, principalmente nos centros urbanos (SALLA et al., 2013).

Dentre os impactos antrópicos mais corriqueiros, têm-se os dos recursos hídricos urbanos, que são ocasionados principalmente pelo desenvolvimento dos centros urbanos ocupando áreas de drenagens de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2005). A maioria dos cursos de água localizados próximos a centros urbanos sofre com alguns impactos negativos de origem antrópica, havendo uma ruptura brusca na série gradual do sistema hídrico (TUCCI, 2008; QADIR et al., 2010). Os mais investigados são as barragens e as fontes intermitentes de poluição que causam uma série de efeitos diretos que podem ou não ser cumulativos (WARD; STANDFORD, 1993).

No caso dos ambientes lóticos, estes apresentam diversas características físicas e químicas que garantem a existência e manutenção das comunidades biológicas aquáticas, seja pela disponibilização de recursos de maneira gradual ao longo do seu leito (VANNOTE et al., 1980) ou pela própria conformação da bacia de drenagem e outros fatores como as relações ecológicas entre as comunidades presentes (JUNK et al., 1989).

Braga et al. (2005) ressaltaram que existe nos rios uma área relativamente boa, caso não haja poluição anterior, localizada na região a montante do lançamento de carga poluidora. Entretanto, após a área de intensa influência impactante do efluente com elevada carga orgânica biodegradável no curso hídrico, existe o processo de Autodepuração, onde o rio consegue degradar os poluentes. No entanto, rios muito poluídos podem não alcançar as últimas classes, não atingindo a zona de restauração ou de águas limpas, chegando poluídos ao mar ou outros rios de maiores dimensões.

Esses limites de zonas distintas no ambiente lótico podem ser explicados pela teoria ecológica da Imparidade com o Descontínuo Fluvial, apresentada por Poole (2002), assumindo que os ambientes lóticos são sistemas considerados únicos em estrutura e função no nível de escala de uma bacia hidrográfica. Assim, uma bacia é formada por manchas que caracterizam

cada segmento, por exemplo, o tipo de vegetação, dos sedimentos, fluxo da água, solo, etc, cuja dinâmica, ao longo do sistema, é o que vem a caracterizar o rio.

Poole (2002) ainda destacou que um contínuo, desde a nascente até à foz, é uma representação razoável para um rio, principalmente quando analisadas as considerações feitas por Vannote et al. (1980), que tentam demonstrar, conceituando o rio Contínuo, como se processa um gradiente de condições numa bacia de drenagem como um todo, ou seja, os eventos mais importantes que ocorrem no alto curso de uma bacia influenciam direta e indiretamente os processos biológicos e sedimentares rio abaixo, explicando o porquê das comunidades biológicas serem diferentes ao longo do curso e nas cabeceiras. No entanto, Poole (2002) disse que nenhum rio, quando analisado detalhadamente, pode ser apresentado como um "contínuo".

Logo, cada bacia Hidrográfica possui seu próprio mosaico de manchas, denominados de meta-estrutura, e um rio nunca seria considerado como um contínuo, pois tais manchas se mostram de forma bastante desigual no contexto, pois os tributários são considerados como grande fator de interferência no gradiente longitudinal do rio (BRIGANTE et al., 2003).

Os despejos de origem doméstica nos sistemas lóticos são as fontes de poluição mais comuns e têm acarretado enormes e sérios prejuízos às comunidades aquáticas, principalmente nos países considerados em desenvolvimento, onde a infraestrutura é problemática (MAGRIS et al., 2006), causando sérios distúrbios na qualidade da água e/ou do sedimento aquático, o que acarreta em alterações no fluxo de energia desses ecossistemas, incluindo a deterioração da água e habitats ripários, invasões por espécies exóticas, aumento de temperatura da água, turbidez e contaminação por poluentes, bem como a composição e abundância de muitos organismos que ali coabitam (MALTCHIK; TEIXEIRA; STERNERT, 2006). Como exemplo, pode-se citar o caso da proliferação excessiva de algas e aguapés. A entrada de nutrientes em grande quantidade, poluição dos meios aquáticos ou até eventos naturais podem causar o crescimento excessivo de populações de espécies de algas e/ou macrófitas aquáticas (BRAVIN et al., 2005).

Sendo assim, Arias et al. (2007) apontaram que além das análises físicas e químicas da água, que não são suficientes, por si só, em predizer a qualidade da água, o uso de bioindicadores demonstraria tal efeito desses poluentes sobre a biota. Tais comunidades biológicas, com a presença de poluentes ou não na água, sofrem alterações em densidade e riqueza, sendo capazes de indicar o efeito das ações antrópicas ou naturais no ambiente (PIMENTA et al., 2016).

Magurran (2011) e Pimenta et al. (2016) recomendaram também os índices ecológicos da diversidade de Shannon-Weaver (H) e de Equitabilidade (E) para se fazer uma melhor relação com as variáveis ambientais.

De acordo com Milesi et al. (2008), os mais aceitos na academia como bioindicadores de qualidade das águas nos ambientes lóticos são os Macroinvertebrados Bentônicos ou Zoobentos Límnicos, por possuírem características fases da vida sésseis, em geral um ciclo de vida relativamente longo e são fáceis em ser visualizados, muitas vezes sem auxílio de equipamentos. Além disso, são compostos por grande variedade de grupos taxonômicos, dentre eles: crustáceos, moluscos, anelídeos e insetos adultos ou imaturos, entre outros, geralmente maiores que 0,2mm (HENRY, 2003), e são caracterizados por habitarem o sedimento aquático (BICUDO; BICUDO, 2004). Logo, dão respostas cumulativas da qualidade de água, ao invés de informação pontual, como é o caso das análises químicas e físicas.

Não obstante, tendo em vista que os ambientes aquáticos estejam poluídos organicamente, é necessária que haja intervenção para remediar os locais impactados no rio. Assim, têm-se a proposta de utilizar os organismos ou comunidades biorremediadores autóctones, sendo o perifíton (também chamado de biofilme) o mais indicado, pois é formado por uma diversidade de microrganismos (algas, bactérias, fungos e animais) e detritos orgânicos e inorgânicos, que se aderem a substratos (naturais ou artificiais), vivos ou mortos (WETZEL, 1983).

Sua principal função nos ecossistemas aquáticos destacam-se em três linhas: dinâmica de nutrientes, fornecimento de energia para o ecossistema e regulação da vegetação submersa (FELISBERTO; MURAKAMI, 2013). Por esses motivos, o perifíton tem a capacidade de fornecer várias soluções para problemas de eutrofização e poluição da água, devido ao seu sistema de implantação e adaptabilidade com referência ao crescimento da comunidade e sua potencialidade de remoção de nutrientes nitratos e fosfatos (ROESELERS et al., 2008), podendo ser usado como biorremediador ou biotratamento.

A partir disso, pretende-se avaliar sistemas de biotratamentos com metodologias alternativas e de baixo custo para o tratamento, que poderá beneficiar a comunidade aquática e, conseqüentemente, a sociedade humana que, direta e/ou indiretamente, faz uso da água e dos organismos desses ambientes. Contudo, visando contribuir para a melhora da qualidade da água do Rio Jaguaribe, surgem as seguintes problemáticas: 1) A qualidade da água do Rio Jaguaribe ao longo do seu leito é ruim, melhorando somente a jusante da Mata do Buraquinho?; 2) O sistema de biorremediação utilizando o perifíton, melhora, *in situ*, a qualidade do Rio

Jaguaribe?; 3) os moradores ribeirinhos do Rio Jaguaribe perceberão as mudanças ocorridas com a implantação da biorremediação por perifíton?

Diante da problemática, esta Tese de doutorado está dividida em três capítulos. No primeiro, foi realizado um diagnóstico de 2017 a 2018 através de um biomonitoramento do Rio Jaguaribe, utilizando os macroinvertebrados como indicadores de qualidade ambiental, associados a análises químicas e físicas; no segundo capítulo, realizaram-se experimentos com módulos de Biorremediação, utilizando-se o perifíton como biorremediador, em três comunidade nas margens do Rio Jaguaribe na época de chuva e de estiagem no ano de 2019. Já no terceiro capítulo, foi realizada uma pesquisa qualitativa sobre a percepção dos moradores das comunidades que se situavam próximos aos locais de experimento com o biotratamento por perifíton para avaliar o quanto eles perceberam as mudanças ocorridas na qualidade da água do Rio Jaguaribe.

No final, há uma discussão geral interligando os conhecimentos dos três capítulos desta tese, assim como uma conclusão geral e considerações finais.

2. HIPÓTESES

- a) A qualidade da água do rio Jaguaribe melhora logo após o Jardim Botânico e depois volta a estar ruim.
- b) O biotratamento por perifíton melhora a qualidade da água do Rio Jaguaribe.
- c) Os ribeirinhos percebem as mudanças na qualidade da água do Rio Jaguaribe após o biotratamento por perifíton.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

- Avaliar a eficácia do uso do biotratamento por perifíton em um rio urbano com alto grau de poluição com o apoio da percepção dos ribeirinhos.

3.2. Objetivos Específicos

- Verificar a qualidade da água e do sedimento aquático do Rio Jaguaribe com macroinvertebrados bentônicos como indicadores;

- Avaliar a biorremediação por perifíton para a melhoria da qualidade da água do Rio Jaguaribe;
- Analisar a percepção de ribeirinhos do Rio Jaguaribe sobre a qualidade de água antes e após a biorremediação;

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Água no Planeta Terra

De acordo com Tundisi (2003), o planeta Terra é coberto por mais de 2/3 de água; entretanto, apenas 3% desse volume é de água doce e apenas 1% está disponível para o consumo humano. Segundo Araújo et al. (2009), uma boa parcela dessa água doce existente no planeta possui algum tipo de contaminação, que pode acarretar danos nocivos para a população. Mesmo após tratamento dessas águas para consumo humano, pode a água não apresentar qualidade para tal consumo, pois os problemas de gosto e odor em águas de abastecimento são de natureza complexa, de solução tecnológica difícil e onerosa, e a sua presença na água tratada pode causar transtornos consideráveis junto aos consumidores (FERREIRA-FILHO; ALVES, 2006).

O Brasil, segundo a Agência Nacional da Águas - ANA (BRASIL, 2019), é um dos países que possui a maior disponibilidade de água doce no mundo, distribuída em aquíferos, rios, lagos e reservatórios. O Nordeste brasileiro dispõe de apenas 3% da água doce do país; isso dá-se devido às condições geoclimáticas da região, já que a maior parte do seu território é semiárido (ROSSONI; ROSSONI; LIMA, 2013), enquanto que a maior parte está no norte do país (TUNDISI, 2008).

A água essencial para a humanidade e para todas as comunidades biológicas existentes no planeta, além de ser na sua maioria, de grande importância para as atividades econômicas, como por exemplo, a indústria e agropecuária, exerce também um papel fundamental na qualidade e perspectiva de vida das populações urbanas (SHUBO, 2003).

O crescimento populacional e a urbanização são elementos que contribuíram para a escassez da água, devido, principalmente, ao incremento do consumo humano e industrial, bem como, da ampliação da área urbanizada, através do aumento de impermeabilização que exerce muita pressão sobre os rios (ROCHA, 2012), favorecendo o escoamento superficial e diminuindo a infiltração na bacia hidrográfica, o que diminui a água que flui nos córregos e rios.

Na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte das águas contaminadas, tanto pelos esgotos domésticos quanto pelos industriais, são lançadas sem nenhum tratamento, principalmente nos rios urbanos, que transportam grandes quantidades de matéria orgânica e poluentes e são os principais responsáveis pela eutrofização desses ambientes (ZANINI, 2009). Apesar de serem extremamente importantes para a manutenção da vida, os sistemas aquáticos vêm sofrendo um processo acelerado de degradação, comprometendo a qualidade de um recurso já escasso.

4.2. Rios urbanos, impacto e autodepuração

As maiores migrações humanas que levaram à formação das grandes civilizações da antiguidade tinham como destino áreas que eram naturalmente irrigadas e com fácil acesso à água, sendo essa sempre relacionada com o desenvolvimento da sociedade nos mais diversos setores como a produção de energia elétrica, transporte aquaviário, oferta de água potável, agricultura e recreação (TUNDISI, 2003).

Os rios urbanos interagem com um complexo sistema, com representações na dinâmica socioambiental da cidade, desempenhando a função de controle da temperatura e de regulação dos efeitos das chuvas, além de possibilitar a drenagem ou escoamento superficial das águas advindos das chuvas (ROSSI et al., 2015).

De acordo com Tucci (2008), a urbanização de forma extremamente intensiva vem aumentando a demanda pela água, ampliando a efluência de agentes contaminantes nos recursos hídricos naturais.

Além disso, de acordo com Tundisi (2008), a elevada demanda de água para abastecimento e desenvolvimento econômico e social, inclui os problemas na falta de articulação e falta de ações consistentes na gestão de recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental por parte dos gestores públicos. Tais problemas se apresentam no escopo local, regional, continental e planetário, e vem contribuindo principalmente para o aumento das fontes de contaminação dos recursos hídricos, com a diminuição da disponibilidade destes, e com o consequente aumento da vulnerabilidade da população humana em razão de contaminação e dificuldade de acesso à água de boa qualidade (potável e tratada).

A presença de rios nas cidades proporciona diversos benefícios aos seus habitantes, no que diz respeito ao usufruto dos recursos hídricos, já que são um habitat rico, com diversas características biológicas e geomorfológicas (ROWSELL; BURGESS, 1997). No entanto, com

todas as alterações e impactos que sofrem perdem essa capacidade, principalmente reduzindo a sua biodiversidade.

Apesar da elevada importância que os ambientes lóticos têm para o desenvolvimento das cidades e bem-estar da população, segundo Holz (2011), os corpos hídricos, em geral, têm sido desconsiderados no planejamento de muitas cidades, sendo utilizados como estruturas de saneamento e drenagem, transformando-se frequentemente em paisagens degradadas, poluídas e sem tratamento, o que em muitos casos causa mau odor.

As atividades antrópicas consideradas como impactantes são aquelas em que ocasiona diversos distúrbios no equilíbrio dinâmico, afetando em alguma escala o funcionamento natural dos ecossistemas, cuja influência de um impacto está diretamente proporcional à sua frequência, extensão espaço-temporal, sendo mais impactantes aqueles que alteram a resiliência dos sistemas e/ou dos organismos, impedindo o restabelecimento da condição ambiental e biológica anterior (CLEMENTS, 2000).

Neste sentido, os conceitos de “impacto ambiental” e de “poluição” estão ligados fortemente às alterações negativas provocadas pelas atividades antrópicas no ambiente (BRAGA et al., 2005). De acordo com o Artigo 1º da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n.º 001/1986 (BRASIL, 1986), o conceito de Impacto Ambiental se dá para qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades antropogênicas que possam afetar, de forma direta ou indireta a saúde, a segurança, e o bem estar da população humana, bem como as atividades sociais e econômicas, sem esquecer a biota, além das condições estéticas e sanitárias ambientais, incluindo também a qualidade dos recursos ambientais.

Sobre esses impactos ambientais negativos nos corpos hídricos, a resolução do CONAMA 430/2011 traz os seguintes termos: **Efluente**, que é utilizado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos; **Esgotos sanitários**, uma denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não domésticos; **Lançamento direto**, quando ocorre a condução direta do efluente ao corpo receptor; **Lançamento indireto**: quando ocorre a condução do efluente, submetido ou não a tratamento, por meio de rede coletora que recebe outras contribuições antes de atingir o corpo receptor; **Capacidade de suporte do corpo receptor** é o valor máximo de determinado poluente que o

corpo hídrico pode receber, sem comprometer a qualidade da água e seus usos determinados pela classe de enquadramento (BRASIL, 2011).

No que diz respeito a poluição nos corpos aquáticos, para von Sperling (1996), há, primordialmente, dois tipos de fontes: as denominadas Poluição pontual e a Poluição difusa. Na primeira, há o *input* dos poluentes no corpo de água de forma muito concentrada no espaço, cujo exemplo seria o lançamento direto ou indireto de uma comunidade ribeirinha em um rio. Já a respeito da poluição difusa, os poluentes são incorporados ao corpo hídrico ao longo de toda ou parte de sua extensão, como é o caso da poluição veiculada pela lixiviação, onde adubos, agrotóxicos e outros poluentes são descarregados no corpo de água de uma forma distribuída, e não concentrada em um único ponto.

O problema dá-se quando os corpos de água já estão comprometidos, ultrapassando a sua capacidade de suporte do corpo receptor, não fornecendo condições suficientes para ocorrer a autodepuração (SARDINHA et al., 2008); nessa altura devem ser tomadas atitudes que recuperem a sua qualidade. Estas atitudes em áreas urbanas normalmente apresentam custos elevados e passam pela instalação de estações de tratamento de esgotos. Neste caso devem ser realizadas análises que prevejam a melhoria esperada dos cursos de água, para que, de forma progressiva, os padrões de qualidade da água dos rios sejam atingidos e mantidos. Neste sentido, além de coletar e tratar os esgotos, também se faz necessário verificar a real extensão do lançamento destes esgotos, visando avaliar a capacidade de autodepuração nos cursos de água, promovendo, assim, a gestão deste recurso hídrico no qual contempla todos os usos antevistos para o mesmo (TREVISAN, 2011). Dessa forma, com a autodepuração em total funcionamento, um rio consegue degradar os poluentes recebidos ao longo do seu leito.

A autodepuração, segundo Salla et al. (2013), é um conjunto de mecanismos naturais dos cursos de água capaz de neutralizar as alterações decorrentes do lançamento de efluentes e restabelecer um novo equilíbrio do meio aquático. No entanto, esse processo pode necessitar de dezenas de quilômetros, dependendo das características do corpo receptor e da qualidade e quantidade da carga lançada (VON SPERLING, 1996; CHAGAS et al., 2013).

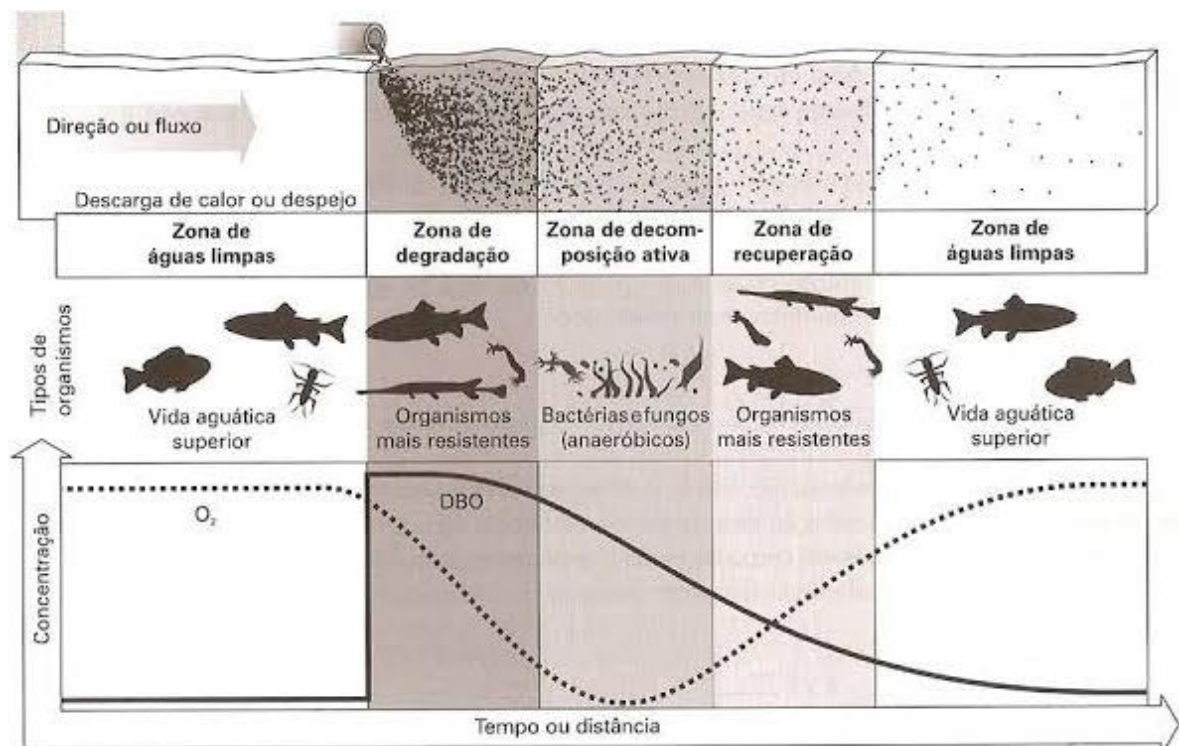
A autodepuração pode ser entendida também como um fenômeno em que há sucessão ecológica, uma vez que não há um restabelecimento absoluto do rio (VON SPERLING, 1996). Assim, o ecossistema atinge novamente o equilíbrio, mas não nas mesmas condições anteriores, devido ao aumento da concentração de certos produtos e subprodutos do processo de decomposição. Não obstante, a comunidade aquática pode se apresentar de forma distinta, mesmo no novo equilíbrio e, neste caso, as concentrações de oxigênio dissolvido podem se

elevant, caso o ambiente aquático não receba novas cargas de poluição orgânica (CHAGAS et al., 2013).

Durante este processo, o contaminante biodegradável é atacado por micro-organismos que o decompõem até eliminá-lo quase totalmente. Na autodepuração, as etapas, alcançadas são a decomposição da matéria orgânica, quantificada por meio da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a posterior restabelecimento do oxigênio dissolvido ou reaeração (BRAGA, 2005; VON SPERLING, 1996). Desta forma, ao longo de um corpo hídrico, a autodepuração é um processo que se apresenta em 4 estágios, sendo eles: a) Zona de decomposição ou de degradação; b) Zona de decomposição ativa ou séptica; c) Zona de recuperação; e, d) Zona não poluída ou de águas limpas, como mostrado na Figura 1 a seguir (VON SPERLING, 2007).

Na **zona de degradação**, iniciada a poucos metros da jusante do *input* de resíduos ou poluentes, ocorre a diminuição da oferta de oxigênio (reduzindo a ação de bactérias aeróbias) e a decomposição de matéria-prima impactante. No entanto, a densidade de bactérias anaeróbicas ainda é alta, embora a diversidade microbiana diminua, resultando em micro-organismos mais resistentes aos poluentes. Nesta zona, a condição anaeróbica faz com que ocorra a produção de gás sulfídrico e gás metano, que ocasiona o mau odor advindos de ambiente poluído (VON SPERLING, 2007).

Figura 1. Zonas de autodepuração em um curso de água após lançamento pontual de efluentes.



Na **zona de decomposição ativa**, o ecossistema começa a se estabelecer, com o predomínio de micro-organismos decompositores. Como consequência, a qualidade da água encontra-se no seu estado mais deteriorado, com mudança na coloração da água mais acentuada e o depósito de lodo no fundo mais intenso, havendo a diminuição na densidade de bactérias e aumento do número de protozoários (VON SPERLING, 2007).

Na **zona de recuperação**, a água volta a ficar mais clara e com menos lodo no fundo. Há também o desenvolvimento de algas e diversificação da cadeia alimentar, tendo assim introdução de oxigênio, aumentando os teores de oxigênio dissolvido (OD) (VON SPERLING, 2007).

Na **zona de águas limpas**, tem-se o retorno das condições naturais ao rio, com o aumento da biodiversidade de espécies. No entanto, esse equilíbrio só será mantido se não houver uma nova introdução de poluentes (VON SPERLING, 2007).

Do ponto de vista ecológico, segundo Trevisan (2011), a autodepuração também pode ser vista como um fenômeno de sucessão de espécies, porque existe uma sequência sistemática de substituições de comunidades até que uma nova comunidade estável se estabeleça nas novas condições de equilíbrio. As características dos organismos presentes em determinado habitat também se alteram com as mudanças na qualidade da água, pois, em geral, após o lançamento de uma fonte poluidora, espera-se que a diversidade de espécies sensíveis à poluição caia e o número de organismos tolerantes presentes aumentem a sua densidade, até que esse quadro se reverta.

Com o processo de urbanização desordenado e sem planejamento, os ambientes aquáticos sofrem, desde as nascentes até à foz, com o despejo de efluentes domésticos e industriais, além de sedimentos e resíduos sólidos urbanos, ocasionando diversos impactos aos organismos aquáticos e à qualidade da água, fazendo com que esses ambientes se tornem áreas degradadas (FIA et al., 2015), sendo uma prática comum em diversos países. Com isso, a autodepuração não consegue atingir todos os estágios, permanecendo o ambiente lótico ainda com cargas de poluentes.

Neste caso, saber como se comporta a autodepuração de um ambiente aquático, incluindo os que estão dentro dos limites urbanos, é um requisito para implantação de empreendimentos em que ocorra lançamento de efluentes em corpos receptores, conforme as diretrizes da resolução CONAMA nº 430/2011, prevendo e mitigando, quando possível, os impactos destes lançamentos (BRASIL, 2011). De acordo com esta Resolução, os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas

obrigatórias progressivas, intermediárias e final do seu enquadramento, ou seja, o impacto causado no corpo receptor deve ser calculado por meio de estudos de autodepuração para que o efluente lançado não desenquadre o rio de suas condições legais. Assim, os efluentes de qualquer fonte poluidora, para que possam ser lançados diretamente em um corpo receptor, devem atender às condições impostas pelas resoluções do CONAMA 357/2005 e 430/2011 (BRASIL, 2011).

O Rio Tietê em São Paulo, Brasil durante as décadas de 1930 e 1940 era utilizado para práticas esportivas e de lazer; entretanto, nos anos seguintes, a ocupação desordenada da população e o despejo de esgotos domésticos e industriais contribuíram para a degradação ambiental de sua bacia hidrográfica, agravando-se ainda mais com a construção de vias marginais, deixando a sua qualidade ambiental ainda mais comprometida (GARCIA; AFONSO, 2013).

Outro impacto em rios urbanos é a transformação desses rios em vias fechadas ou canais, destruindo o sistema natural e comprometendo a qualidade da água, além do uso de sua estrutura para o despejo final de esgotos domésticos e industriais (TUCCI, 2006). Há também a mudança no curso dos rios causados pelas canalizações, implicando em alterações no seu regime hidrológico, provocando inundações e assoreamento e maior concentração de sedimentos (SIMSEK; KOYDEMIR; SCHÜTZ, 2012).

O Brasil e outros países têm rios impactados pela ação antropogênica e a ocupação urbana desordenada fez com que a maior parte dos rios fossem canalizados ou feitos como depósitos de esgotos e lixo (AFONSO, 2011).

4.3. Qualidade da água

Sobre a qualidade da água, é algo que depende diretamente da finalidade de seu uso, seja para abastecimento humano, balneabilidade, irrigação, transporte, ou sustentação da biocenose aquática (SOUZA et al., 2014; NEVES et al., 2014). Atualmente, a maioria das bacias hidrográficas, bem como os grandes ecossistemas aquáticos urbanos, vêm enfrentando grande dificuldade quanto à manutenção da qualidade da água, devido, principalmente, à elevada contaminação dos mananciais advindos da ação antrópica (MARINHO, 2018).

A deterioração da qualidade de água dos corpos hídricos é um dos maiores problemas da atualidade. Assim, os estudos límnicos são essenciais para a avaliação dos impactos da poluição nos ambientes aquáticos continentais, podendo detectar os processos de eutrofização,

verificar a qualidade da água e apontar e mitigar as principais fontes de poluentes (GARCIA et al., 2012).

Os efluentes que provocam contaminação são na sua grande maioria lançados em rios e mares contribuindo para a disseminação de uma gama de agentes tóxicos como metais pesados, agrotóxicos, compostos orgânicos, entre outros, afetando assim o ambiente, e prejudicando os organismos aquáticos ou até mesmo a saúde humana, caso façam a ingestão dessas águas contaminadas (BRAGA, 2005).

Atualmente, mesmo passando por Estações de Tratamento de Esgotos, a água não é completamente descontaminada, os efluentes ainda saem ricos em nutrientes (SOUSA, 2015) e em substâncias que o tratamento convencional não trata, como fármacos, cafeína, entre outros, denominados de poluentes emergentes, definido como compostos químicos não comumente monitorados, porém apresentando um potencial em causar efeitos antagônicos ao meio ambiente e aos seres humanos (GEISSEN et al., 2015; GROSSELI, 2016).

Assim, o monitoramento de ambientes aquáticos se torna uma indispensável ferramenta no auxílio para gerir o meio ambiente, pois fornece informações que contribuem para a caracterização das águas e para a identificação dos impactos que provocam a degradação dos recursos hídricos (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013) além de auxiliar na classificação dos usos que podem ser dados para essas águas.

De acordo com a resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) enquadra as águas doces em cinco classes distintas (Especial, 1, 2, 3 e 4). As águas destinadas ao abastecimento humano estão enquadradas nas classes Especial, 1, 2 e 3, passando por processos de tratamento e desinfecção. As águas de classe 4 são destinadas apenas para a navegação e harmonia paisagística. De acordo com esta classificação, quanto maior o número da classe, menos nobres são os usos e mais se investe em tratamento e desinfecção para o consumo humano.

Um dos principais problemas quanto à qualidade das águas em centros urbanos está relacionado com o lançamento de efluentes domésticos. Nesta situação, se encontram diversos municípios brasileiros, que não realizam coleta ou tratamento dos esgotos, e/ou muitas vezes, o tratamento disponível é insuficiente para tratá-los adequadamente para o lançamento nos corpos hídricos, de acordo com a legislação – CONAMA 357/2005, comprometendo a qualidade das águas e os seus diversos usos (SANTOS; OLIVEIRA; CRISPIM, 2017).

Na Resolução CONAMA 357/2005 estão apresentados padrões para mais de 70 parâmetros de qualidade da água (ANEXO 2). Neste item são apresentados apenas os parâmetros que foram analisados para o presente estudo: **Oxigênio dissolvido (OD)**;

Temperatura; Potencial Hidrogeniônico (pH); Condutividade Elétrica; Sólidos Totais Dissolvidos (SDT):

Oxigênio dissolvido (OD): É de essencial importância para os organismos aeróbios e o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. (VON SPERLING, 1996).

Temperatura: pode acelerar ou retardar a velocidade das reações químicas e também da atividade biológica, influenciando também na solubilização de gases, como o oxigênio e influenciar na precipitação de compostos. Quando se encontra ligeiramente elevada, resulta na perda de gases pela água, gerando odores e desequilíbrio ecológico (VON SPERLING, 1996);

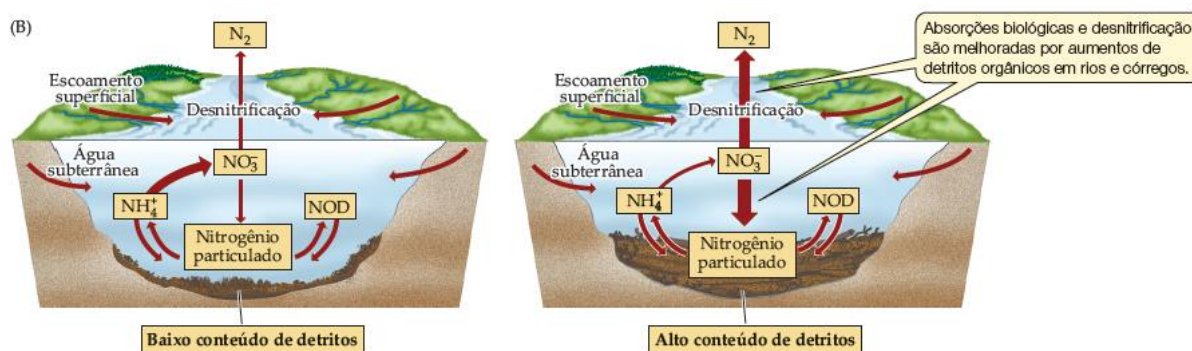
Potencial Hidrogeniônico (pH): Medida da concentração relativa dos íons de hidrogênio numa solução, indicando a acidez ou alcalinidade desta. Um valor de pH igual a 7 significa que a solução é neutra; pH maior que 7 indica condições básicas e abaixo de 7 condições ácidas (AWWA, 1964) e está diretamente ligado a concentração de Carbonato de cálcio na água.

Condutividade Elétrica: é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica, a qual está relacionada com a presença de íons dissolvidos na água. Quanto maior for a quantidade desses íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. O parâmetro condutividade elétrica pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem, ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos ou agricultura (ESTEVES; FIGUEIREDO-BARROS; PETRUCIO, 2011);

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT): é a quantidade de partículas dissolvidas e não-dissolvidas que ocorre no meio líquido, com exceção dos gases dissolvidos.

Em relação ao Nitrogênio nos ambientes aquáticos, podem estar principalmente nas formas de Amônia, Nitrito e Nitrato, como a Figura 2.

Figura 2. Transformações do Nitrogênio na coluna de água e no sedimento aquático.



Fonte: Cain; Bowman; Hacker. (2018).

Amônia (NH_3): é um gás incolor, alcalino e irritante em condições normais de temperatura e pressão, bastante solúvel em água em baixos valores de pH (ácidos). Um odor pungente é detectável em concentrações acima de 30 mg/L, ocorre irritação ocular e nasal a 50 mg/L, disfunção pulmonar a 1000 mg/l e há risco de morte se uma pessoa for exposta a concentrações acima de 1500 mg de NH_3 /L(11). Ocorre em vários efluentes domésticos e industriais e também resulta da decomposição natural da matéria orgânica (CETESB, 2019). Os níveis de amônia na superfície da água doce crescem com o aumento do pH e temperatura. Em baixos pH e temperatura, a amônia se combina com a água para produzir um íon amônio (NH_4^+) e um íon hidróxido (OH^-). O íon amônio não é tóxico e não causa problemas para os organismos, enquanto que a forma não ionizada tem efeito tóxico. Acima de pH 9, a amônia não ionizada é a forma predominante no meio e pode atravessar membranas celulares mais rápido à medida que aumentam os valores de pH. A magnificação da concentração de amônia que pode penetrar no organismo potencializa o efeito tóxico (CETESB, 2019).

Nitrito (NO_2^-): O nitrito é um produto intermediário da transformação da amônia em nitrato, e pode ser tóxico para peixes (FRANCES et al., 1998). Como resultado da ação da nitrificação bacteriana, a amônia é reduzida a nitrito, e em sistemas fechados, bem como tanques de terra, ambos podem acumular para níveis tóxicos. O aumento nas concentrações de nitrito na água induz a acumulação deste no sangue e tecidos, e via reações complexas produzindo derivados tóxicos com ação deletéria em processos fisiológicos dos peixes (COSTA et al., 2004).

Nitrato (NO_3^-) - O íon nitrito é rapidamente oxidado para a forma de nitrato. Apesar de serem nutrientes essenciais para as plantas, podem, em excesso, causar problemas significativos na água, isto é, juntamente com o fósforo, podem acelerar a eutrofização dos lagos. A quantidade natural de nitrato e amônia em águas superficiais é baixa ($< 1\text{mg.L}^{-1}$) (ESTEVES, AMADO, 2011). Entretanto, as concentrações acima de $5\text{ mg.L}^{-1}\text{NO}_3^-$ normalmente podem indicar poluição por fertilizantes usados na agricultura e que foram, posteriormente, lixiviados; ou de efluentes domésticos e/ou industriais (BIGUELINI; GUMY, 2012).

Ortofosfato (P-orto) – Fósforo inorgânico dissolvido, onde na água o íon fosfato pode estar na forma de diferentes espécies iônicas em função do pH do meio, cuja faixa do potencial hidrogeniônico em águas continentais situa-se entre 5 a 8, ocasionando as formas iônicas predominantes H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , sendo a principal forma de fosfato ser assimilada pelos vegetais aquáticos, microalgas e bactérias (ESTEVES; PANOSSO, 2011).

Fósforo Total (P – Total) – corresponde à soma de todas as formas de fósforo em uma amostra de água, sendo determinada convertendo-se todo o fósforo (dissolvido e particulado), presente em uma amostra não filtrada, em uma forma inorgânica, o ortofosfato. Na prática, em amostras de água, separa-se o material particulado do dissolvido através da filtração da amostra em filtros de fibra de vidro de porosidade igual a 0,45 µm e serve para estimar o estado trófico do ambiente aquático (ESTEVES; PANOSSO, 2011).

A carga de efluentes não tratados e ricos em macronutrientes pode contribuir para o processo de eutrofização dos ambientes aquáticos, uma vez que, segundo Hutchinson (1957), a eutrofização está ligada ao desenvolvimento excessivo da biomassa dos produtores primários, impulsionada pela elevada concentração de nutrientes no ambiente, principalmente compostos nitrogenados e fosfatados.

De acordo com Macedo; Sipaúba-Tavares (2010), o processo de eutrofização acontece tanto de forma natural quanto artificial, sendo no primeiro caso (natural) um processo brando e continuado, resultante do surgimento de nutrientes que são carregados pelas chuvas e águas superficiais que desestruturam as partículas do solo e lavam a superfície terrestre, levando os nutrientes para os corpos de água, já o segundo caso (eutrofização artificial ou antrópica), é um processo induzido pela ação humana e pode ter origens distintas, como atividades agrícolas e esgotos domésticos e industriais, acelerando o processo natural.

O processo de eutrofização somado às condições ambientais específicas, tais como temperatura, pH, turbulência e aporte de nutrientes, principalmente nitrogênio, leva à floração de Cyanobactérias (FIGUEIREDO et al., 2004), podendo liberar toxinas que podem ser letais a outros organismos, colocando em risco também a saúde humana.

Os efeitos negativos da eutrofização, de acordo com Azevedo Neto (1988), seguindo um efeito cascata, ocorrem com o incremento excessivo e danoso de algas e/ou proliferação de macrófitas aquáticas; alterações profundas da biota, com a substituição de espécies de peixes e outros organismos; decomposição orgânica, consumo e depleção de oxigênio dissolvido e/ou até a anoxia (falta de oxigênio dissolvido), degradação da qualidade da água, com alterações de composição, cor, turbidez, transparência, etc.; liberação de gases e produção de maus odores, produção de substâncias tóxicas, condições propícias para o desenvolvimento de mosquitos, larvas e outros vetores de doenças de veiculação hídrica.

Com a elevação da biomassa fitoplancônica e/ou de macrófitas aquáticas como a *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, há, conseqüentemente a diminuição da penetração de luz, o que ocasiona a limitação de produção de oxigênio dissolvido para a coluna de água, tendo

como consequência a produção de metano (por bactérias metanogênicas, anaeróbias) e gás sulfídrico, causadores de maus odores, por causa da demanda de consumo do oxigênio pelos organismos e a taxa de decomposição aeróbia (ESTEVES et al.; 2011; ESTEVES; FIGUEIREDO-BARROS; PETRUCIO, 2011; SOUZA; MELLO; SEIXAS-FILHO, 2014).

4.4. Biomonitoramento, índice biótico e macroinvertebrados bentônicos

De acordo com Pimenta et al. (2016), o monitoramento biológico serve para averiguar o grau de perturbação do ambiente, baseando-se na análise sistemática comparativa entre as respostas das comunidades biológicas em áreas perturbadas e com as de áreas preservadas, cuja finalidade é avaliar a intensidade das mudanças ocorridas no ambiente.

A avaliação da biocenose aquática em seu habitat natural apresenta ainda a vantagem dos organismos integrarem nas condições ambientais por longos períodos de tempo, permitindo inferir sobre as perturbações ambientais que vieram a ocorrer em momentos anteriores à amostragem, além do fato de a biota aquática poder ser afetada pelo impacto antrópico, mesmo quando esta dista de tais fontes poluidoras, o que permite identificar áreas sujeitas a contaminação difusa e ou oriunda de fontes não identificadas (WANG; ZHANG; YANG, 2016).

De acordo com Milesi et al (2008), os macroinvertebrados bentônicos apresentam uma série de requisitos tanto ecológicos quanto biológicos, nos quais justificam o amplo uso em estudos de avaliação de ambientes aquáticos, principalmente os lóticos, pois são de ampla distribuição e de grande abundância, podendo ser afetados por impactos antrópicos ou estresse ambiental em diversos locais; são de natureza sedentária, o que os tornam imprescindíveis quanto a análise espacial dos poluentes e qual o efeito destes na população daqueles animais; reagem de forma rápida aos impactos ambientais por terem dentro da sua comunidade, por possuir muitos filos e serem bastante heterogêneos, há espécies sensíveis, tolerantes e resistentes a determinados impactos. Além disso, possuem ciclo de vida relativamente longo e não precisa de metodologias complicadas ou de grande custo para capturá-los, contando que são muito fáceis de serem visualizados.

Milesi et al. (2008) também diz que o zoobento límnico pode ser extremamente rico em rios de pequenas dimensões, enquanto, de acordo com Buss (2001) e Buss et al. (2002), a fauna de peixes pode até nem suportar determinados ambientes impactados.

Os Macroinvertebrados bentônicos são compostos por grande variedade de grupos taxonômicos, dentre elas: crustáceos, moluscos, anelídeos e insetos adultos ou imaturos, entre outros, geralmente maiores que 0,2mm (HENRY, 2003), e são caracterizados por habitarem o sedimento aquático (BICUDO; BICUDO, 2004).

Com relação às medidas da comunidade, destacam-se dois modelos de abordagem: O modelo Europeu e o Norte-Americano.

O primeiro é baseado na concepção de espécies invasoras, desenvolvido a partir do índice saprobiótico, cuja origem foi na Alemanha, em 1909, sendo considerada a primeira tentativa de classificar a integridade aquática baseada na sua biocenose (METCALFE, 1989). No caso, “sapróbio” diz respeito à dependência de que haja organismos na decomposição de matéria orgânica como um recurso alimentar, cujo índice se baseia na presença de microorganismos indicadores (exemplo as bactérias, as algas, os protozoários e os rotíferos) que recebem determinados valores baseados em quão tolerantes são à poluição (HAWKES, 1997).

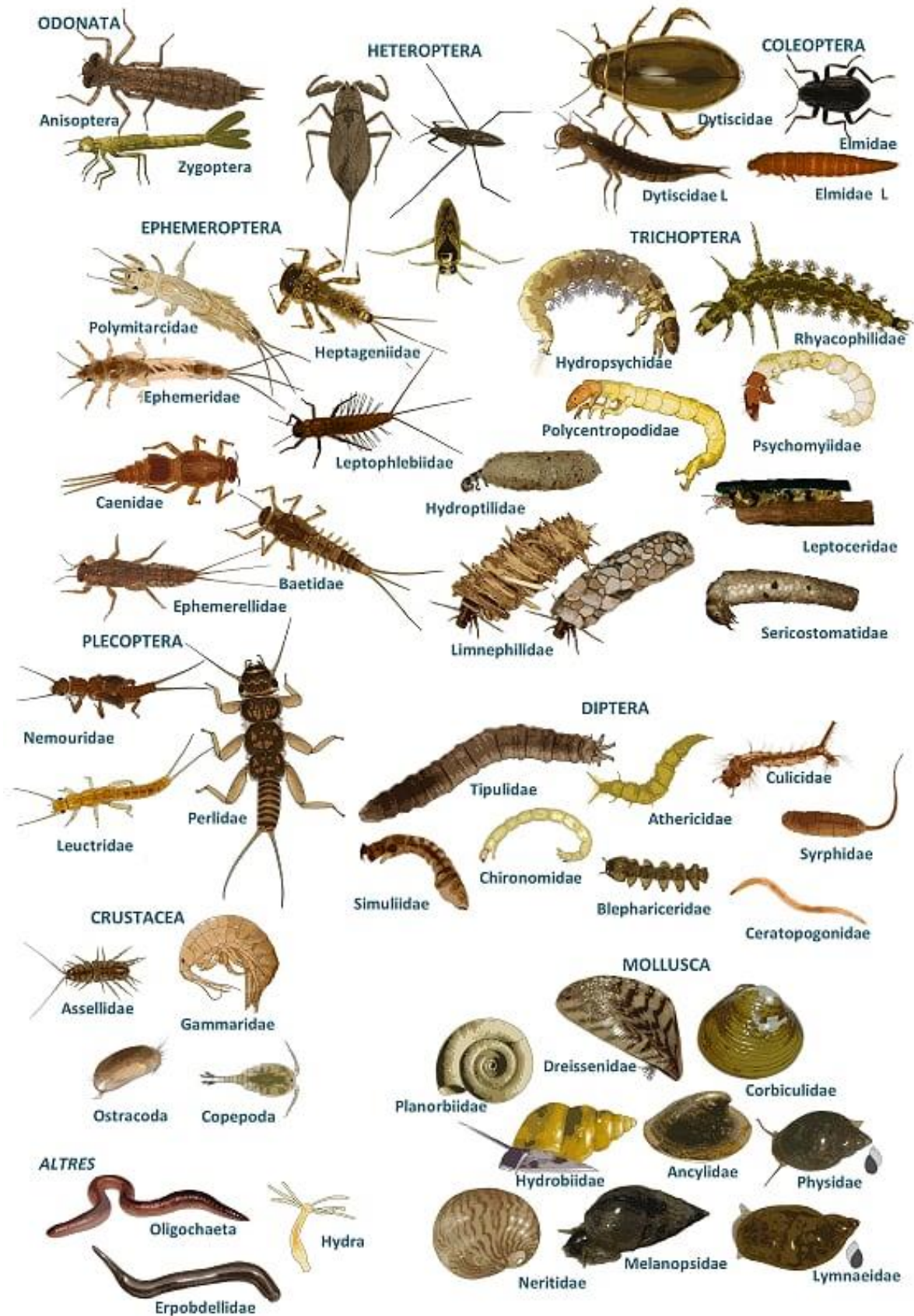
A partir do índice Europeu, foram adaptados outros índices que se baseiam em valores de tolerância à poluição para os organismos da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, cuja elaboração exige um exaustivo trabalho de coleta e análise da comunidade de macroinvertebrados (JUNQUEIRA; CAMPOS, 1998). Além de serem específicos para um tipo de poluição, os valores de tolerância usados em índices bióticos são também específicos para a área geográfica na qual se desenvolveram (SILVEIRA, 2001).

As Figuras 3 e 4 representam os Macroinvertebrados Bentônicos utilizados como indicadores e aos quais são sensíveis, tolerantes e resistentes aos impactos nos ambientes aquáticos, respectivamente.

Os bioindicadores de qualidade de água, no que concerne à sua tolerância face a adversidades ambientais, considerando-se os chamados macroinvertebrados bentônicos (espécies que “deduram” a qualidade da água), podem ser classificados em três grupos principais (embora também comportem exceções dentro dos respectivos grupos): organismos sensíveis ou intolerantes, organismos tolerantes e organismos resistentes, os quais serão especificados posteriormente.

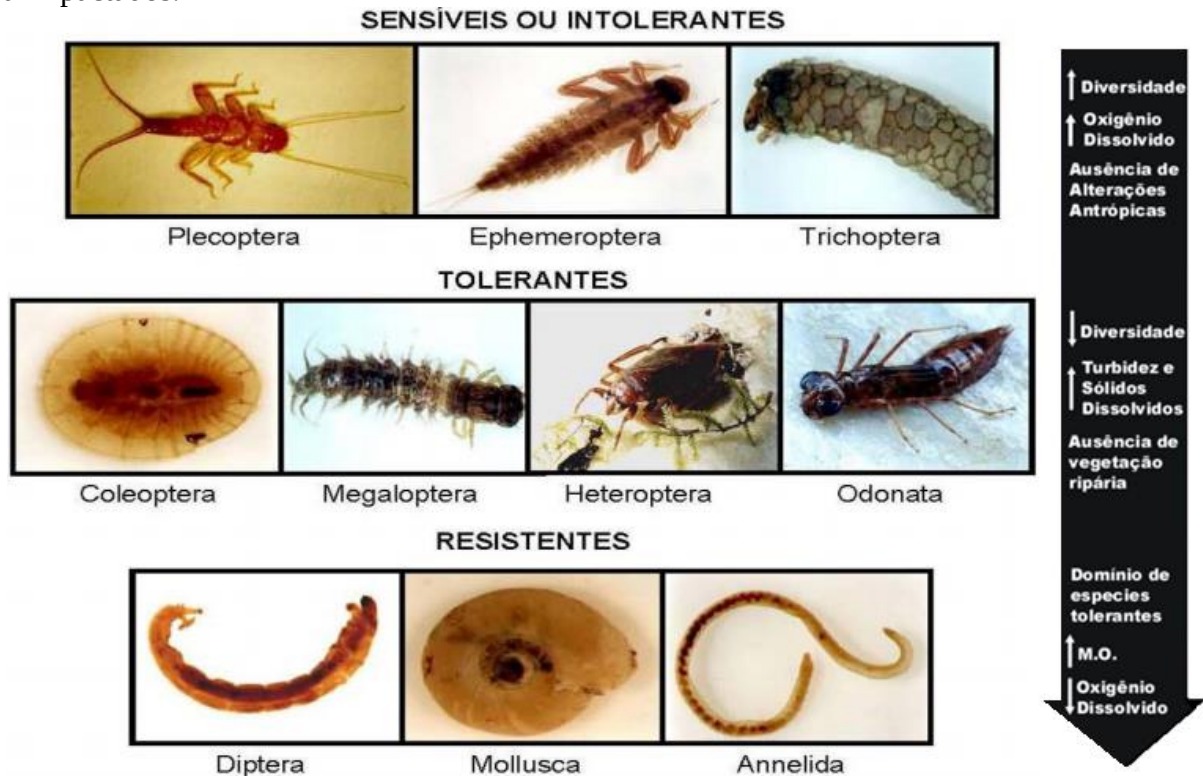
A outra abordagem comumente utilizada é o modelo de monitoramento usado nos Estados Unidos, onde se utiliza de métodos quantitativos, principalmente para o uso de estatística multivariada, índices de diversidade e de similaridade de comunidades, cuja base se dá numa classificação a partir de parâmetros físicos e químicos da água (EGLER, 2002).

Figura 3. Exemplo de Macroinvertebrados bentônicos que podem ser usados como bioindicadores de qualidade da água.



Fonte: Verkaik; Fortuño; Prat (2019).

Figura 4. Macroinvertebrados bentônicos utilizados como Indicadores para ambientes naturais a Impactados.



Sendo assim, avaliar a qualidade da água dos ambientes lóticos pode ser associada à utilização de bioindicadores pelos parâmetros físicos químicos e até geoquímicos, cujo acompanhamento da espécie ou de grupos indicadores, durante um intervalo de tempo, visa obter subsídios sobre a condição aquática e mudanças nessas comunidades biológicas (MUGNAI et al., 2010).

Logo, para a avaliação da qualidade das águas, os macroinvertebrados bentônicos são os que melhor dão respostas frente às mudanças ambientais, utilizados atualmente como um “instrumento” complementar para os parâmetros físicos e químicos (BABICK; RHODEN, 2018; BOBADILHA, 2019).

Assim, saber sobre a qualidade de água dos rios e intervir para que retornem às condições para as mais naturais possíveis é urgente e extremamente necessário, para permitir as suas funções ecossistêmicas e serviços ambientais e para isso é imprescindível realizar a caracterização da qualidade aquática dos rios, por indicadores físicos, químicos e biológicos (MUGNAI et al., 2010) e por fim, aplicar técnicas que possam auxiliar no processo de biorremediação.

Os indicadores biológicos podem ser específicos quanto a certos tipos de impacto, já que se sabe que inúmeras espécies são sensíveis a um tipo de poluente, mas tolerantes a outros. Entretanto, um ponto forte consiste na investigação exploratória acerca de indicadores potencialmente representativos, pois estes podem auxiliar na compreensão da problemática de saúde ambiental existente em nível local e definir prioridades para o alcance da promoção de saúde, tanto ambiental quanto das populações específicas (DUARTE, 2011).

4.5. Biorremediação (Biotratamento)

Existem várias tecnologias que permitem a recuperação ou remediação de ambientes contaminados. Dentre elas, uma que se destaca é a Remediação. De acordo com Rodrigues (2013), o termo Remediação envolve a retirada de riscos potenciais ou reais fontes de contaminantes químicos para receptores que podem ser pessoas que vivem ou visitantes do local impactado, água que drena a área, ou ecossistemas sensíveis nos quais espécies podem ser perdidas.

Não obstante, quando se utiliza espécies vivas para descontaminação, geralmente micro-organismos, usa-se o termo biorremediação. Tal biotecnologia propicia as condições para que os organismos se desenvolvam e degradem poluentes (RODRIGUES, 2013; WEBER; SANTOS, 2013). Neste caso, o termo Biotratamento também pode ser utilizado como sinônimo para Biorremediação.

A biorremediação emerge como uma técnica eficiente, potencial e economicamente viável para contribuir com o melhoramento do tratamento dos efluentes domésticos ou industriais lançados nos ambientes lóticos, pois, em tal técnica, os organismos como os fungos, algas, bactérias, invertebrados, etc, são estimulados a degradar poluentes orgânicos dispostos no ambiente, terrestre e/ou aquático, visando reduzir ou remover os compostos contaminantes (FULEKAR; GEETHA, 2009).

Na implantação de qualquer sistema de biorremediação, é necessário que haja a caracterização do ambiente a ser tratado, devendo sempre antes de sua aplicação, ter resposta para os seguintes questionamentos: a) se o contaminante pode ser degradável por algum micro-organismo (biodegradável); b) se no local contaminado já está ocorrendo a biodegradação de forma natural ou autodepuração, c) se as condições do ambiente são favoráveis para a biodegradação, e, por fim; d) caso o contaminante não seja degradado totalmente, qual seria o destino e o papel do material residual (BOOPATHY, 2000).

A tecnologia da biorremediação é, muitas vezes, menos onerosa do que os métodos convencionais de tratamento (LIN; SAUER; CUTRIGHT, 1996), sendo considerada atualmente como uma alternativa de baixo custo e com potencial enorme na remediação de locais poluídos (SHEKHAR, 2012). Com os processos desenfreados de degradação ambiental, a técnica de biorremediação vem alcançando importância mundial, visto que, seu objetivo é a minimização dos impactos causados pelo homem aos ambientes e a melhoria dos habitats naturais (CARNEIRO; GARIGLIO, 2010).

A biorremediação pode ser realizada tanto *in situ*, quando aplicado no ambiente contaminado, por exemplo, um rio poluído, quanto *ex situ*, quando o contaminante é levado para tratamento em outro ambiente, (por exemplo, num biorreator) (BOOPATHY 2000; YANG et al., 2009; CARNEIRO; GARIGLIO, 2010).

Dentre os seres vivos que podem atuar como biorremediadores tem-se o perifíton (CRISPIM et al., 2009).

4.6. Biofilme e perifíton

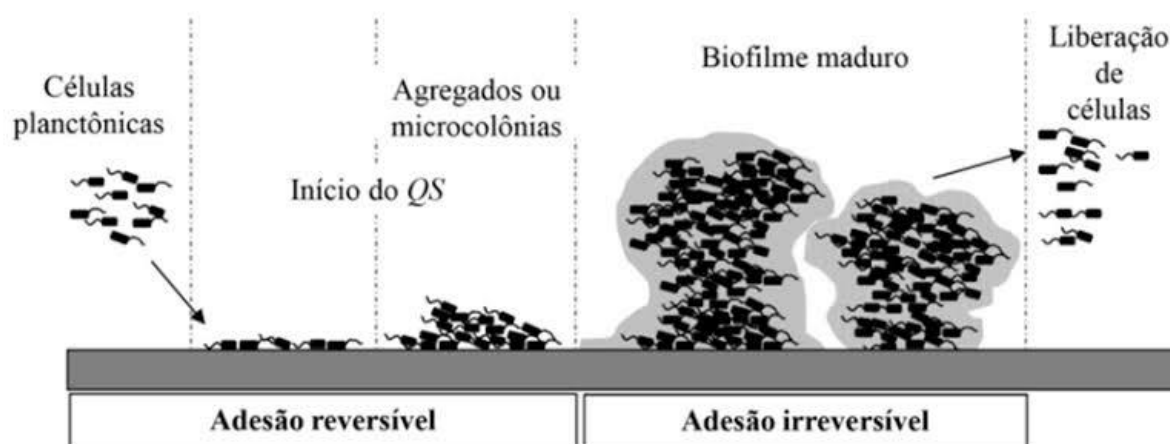
Por muito tempo, acreditou-se que os micro-organismos como as bactérias viviam apenas de forma isolada, planctônica. A partir de então, o conceito de biofilme evoluiu, impulsionando várias pesquisas nas mais diversas áreas relacionadas com a ecologia microbiana (DONLAN; COSTERTON, 2002).

O termo biofilme descreve a forma de vida microbiana sésil, no qual se caracteriza pela adesão destes a um substrato consolidado, havendo, a partir disso, produção de substâncias poliméricas extracelulares (“Extracellular Polymeric Substances” – EPS), de forma a constituir uma rede gelatinosa que prende e protege as células microbianas; a formação de biofilme provoca alterações fenotípicas das células planctônicas, que podem ser descritas como estratégias de sobrevivência dos microrganismos em ambientes com condições adversas (COSTERTON; STEWART; GREENBERG, 1999; OLIVEIRA; BRUGNETRA; PICCOLI, 2010).

Entretanto a teoria geral da existência de biofilme só foi promulgada por Costerton, Geesey e Cheng (1978) utilizando técnicas mais sofisticadas de microscopia, constatando que a maioria dos microrganismos, nos ambientes naturais, se encontravam fixos a substratos e não na forma dispersa em suspensão.

Segundo Percival et al. (2011), a formação do biofilme pode ser subdividido em cinco etapas: **Etapa 1** - Formação do filme condicionante e fixação reversível, em que as bactérias utilizam uma variedade de organelas e proteínas extracelulares para detecção e fixação em superfícies, incluindo pilis, flagelos, fimbrias e diversas proteínas externas de membrana; **Etapa 2** - Fixação irreversível, marcada pela secreção de uma substância polimérica extracelular consistindo em DNA, proteínas, lipídeos e lipopolissacarídeos que facilitam a adesão das bactérias à superfície; **Etapa 3** - Replicação/Multiplicação, nos quais as células adsorvidas à superfície se multiplicam formando microcolônias; **Etapa 4** – Amadurecimento, cuja comunidade cresce em uma estrutura tridimensional e amadurece; as células do biofilme maduro ficam aderidas pela EPS e resistem a tensões mecânicas e ao deslocamento da comunidade a partir da superfície do substrato; **Etapa 5** – Dispersão, quando algumas células se desprendem e podem adsorver-se a outras superfícies e formar novos biofilmes. Esta etapa é muito importante para a propagação e autorrenovação da comunidade (Figura 5).

Figura 5. Etapas da formação do biofilme microbiano em um substrato consolidado e com umidade suficiente para sustentá-lo.



Fonte: Trentin; Giordani; Macedo (2013).

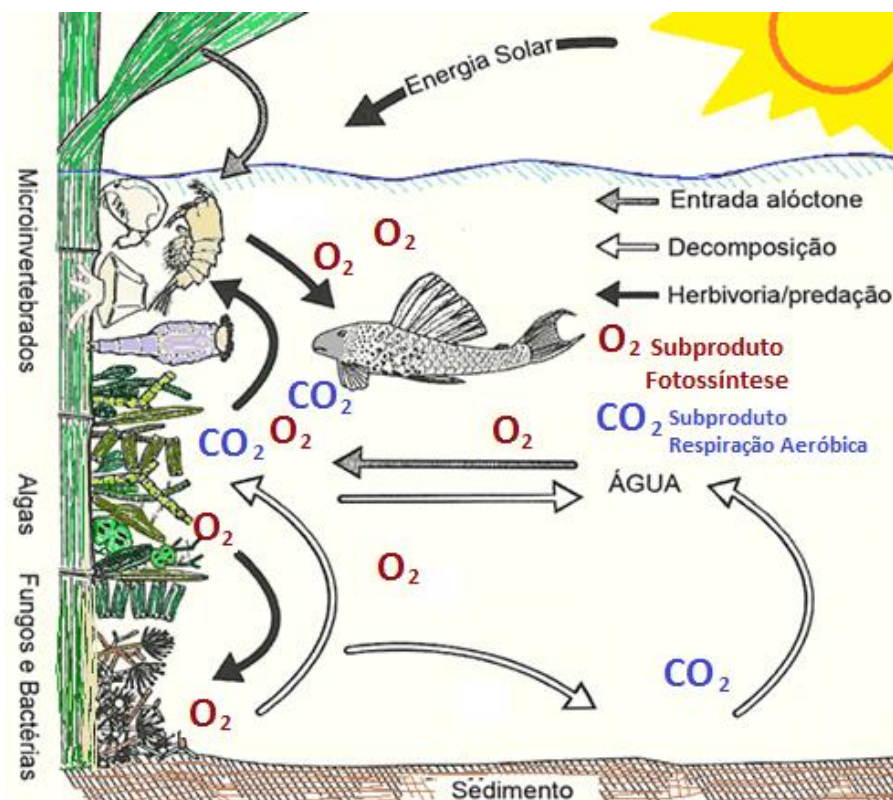
Estima-se que pelo menos de 90% dos micróbios vivam imobilizados pelo biofilme e que estes estão presentes em praticamente todos os ecossistemas, desde os substratos que possuam um nível de umidade adequado para suportar seu crescimento (HALL-STOODLEY; COSTERTON, 2004; NIKOLAEV; PLAKUNOV, 2007).

Anteriormente, muitos autores se inclinavam por termos mais amplos como as "comunidades" ou "assembleias de algas aderidas" ou "biopartículas" ou "biofilme" (PÉREZ; RESTREPO, 2008). Por ser um termo muito amplo, existem diversos enfoques sobre o termo Biofilme, o que vem a causar confusão no uso do termo, de acordo com a sua origem. Tais

abordagens podem ser vistas em Harrison et al. (2005) quando trata sobre o biofilme em multiespécies no rúmen de uma vaca; Oliveira, Brugneta e Piccoli (2010) quando explica sobre o Biofilmes microbianos na indústria de alimentos; Alves et al. (2010) sobre Bactérias Formadoras do Biofilme Dentário; Cruz et al. (2019) quando aborda biofilme e feridas complexas na área de enfermagem. A camada de lodo que se forma nas pedras em riachos seria um exemplo clássico de biofilme, assim como o tártaro formado nos dentes.

Assim, de maneira a padronizar a terminologia do biofilme no ambiente aquático, no 10º "Workshop" Internacional sobre Perifíton de Ecossistemas de água doce, realizado de 14 a 17 de setembro de 1982, em Växjö, Suécia, o termo “**Perifíton**” foi aprovado e definido como uma “complexa comunidade de microrganismos (algas, bactérias, fungos e animais), detritos orgânicos e inorgânicos aderidos a substratos inorgânicos ou orgânicos vivos ou mortos” (WETZEL, 1983), sendo esse termo utilizado até os dias de hoje (BURLIGA; SCHWAZBOLD, 2013) e utilizado no presente trabalho (Tese), embora haja autores que ainda utilizam o termo biofilme. A Figura 6 mostra os componentes do Perifíton.

Figura 6. Representação, sem escala, da comunidade perifítica, aderidas a uma macrófitas aquática como substrato e o Fluxo de energia no ambiente aquático e a importância desta do fornecimento de Oxigênio Dissolvido pelo processo de Fotossíntese por parte das algas perifíticas.



Fonte: Adaptação de Felisberto; Murakami (2013).

O Perifíton é representado por uma fina camada (denominada de biofilme) variando em alguns milímetros, que atua na interface entre o substrato e a água circundante. São observados como manchas verdes ou pardas aderidas a objetos submersos na água como rochas, troncos, objetos artificiais (inertes) e a vegetação aquática (WETZEL, 1983).

Cerca de 95 a 99% da sua composição corresponde ao Ficoperifíton, (do grego “*phycos*” significa alga), que é o nome dado à comunidade de microalgas presentes no Perifíton (WETZEL, 1990). Poucos sabem a importância dessa comunidade nos ecossistemas aquáticos continentais, pois sua principal função nos ecossistemas aquáticos pode enfocar-se em três linhas: fornecimento de energia para o ecossistema, dinâmica de nutrientes e regulação da vegetação submersa (LIBORIOUSSEN, 2003; FELISBERTO; MURAKAMI, 2013).

A comunidade perifítica é considerada um dos principais produtores primários nos ecossistemas aquáticos continentais tropicais, principalmente em ambientes rasos, como córregos, riachos e lagoas costeiras, contribuindo cerca de 70 a 85% do total da produção primária, sendo, portanto, o maior contribuinte para a produção de Oxigênio Dissolvido nos ambientes lóticos (ESTEVES; FURTADO, 2011).

Um dos fatores que influenciam o crescimento do Perifíton é o movimento da água. A velocidade e ação da correnteza, afetam o crescimento e a produção do perifíton, podendo este efeito ser benéfico ou inibidor, dependendo da força e direção do movimento da água, pois este renova continuamente os materiais essenciais e produtos metabólicos (PÉREZ; RESTREPO, 2008).

Existe uma zona definida entre a água e o perifíton, chamada de “camada limite” (RICKLEFS, 2016) ou camada circundante (FELISBERTO; MURAKAMI, 2013) ou “*boundary layer*” (ESTEVES; GONÇALVES-JUNIOR, 2011) e ao redor das células, que chega a ser limitante para elas, mas que têm melhores condições nos ambientes lóticos, pois no fluxo de água, esta camada diminui, aumentando a difusão de gases, íons e nutrientes, facilitando a fotossíntese ativa e a respiração, justificando-se assim a maior produção do perifíton nos ecossistemas aquáticos lóticos do que nos lênticos (PÉREZ; RESTREPO, 2008; FELISBERTO; MURAKAMI, 2013).

Como o perifíton possui uma composição química que contempla todos os componentes da comunidade, incluindo também os detritos orgânicos e inorgânicos, este, muitas vezes, é agregado como indicador da disponibilidade de nitrogênio e fósforo (SCHWARZBOLD; BURLIGA; TORGAN, 2013), desempenhando, assim, um importante papel no fluxo energético e ciclagem de materiais, sendo, o perifíton um importante sequestrador de carbono

e de nitrogênio e fósforo, principalmente, disponibilizando para a teia alimentar (DODDS, 2003).

Estudos apontam que a aquicultura (criação de peixes) baseada na comunidade perifítica é uma abordagem que possibilita a prática da criação de forma ecológica, e pode colaborar com o desenvolvimento de como gerir de modo sustentável os ecossistemas aquáticos, reduzindo a quantidade de ração adicionada ao ambiente e consequentemente a eutrofização artificial (BERGAMIN, 2016; SIQUEIRA; RODRIGUES, 2009), pois as algas e bactérias que fazem parte do perifíton são uma das principais fontes de alimento para os organismos invertebrados e vertebrados, principalmente os peixes, o que pode vir a facilitar a biodiversidade (SANZ-LÁZARO; NAVARRETE; MARÍN, 2011). Além disso, melhora a qualidade de água, quando essa comunidade é aumentada artificialmente (VIEIRA, 2018).

Outro ponto fundamental do perifíton é a sua composição taxonômica, pois, através dela, é possível inferir diagnósticos ambientais e entender os diferentes processos ecológicos dos ecossistemas aquáticos, assim como sua mudança com respeito às variáveis físicas e químicas da água e das alterações climáticas regionais (BIOLO; RODRIGUES, 2011), principalmente nos ciclos de diferentes elementos como nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido e sais dissolvidos (BATTIN et al., 2003; BALDWIN et al., 2006). Assim, o perifíton atua como um depósito temporário de nutrientes, ajudando na diminuição da concentração dos compostos causadores da eutrofização, podendo ser aplicado no tratamento de águas, incluindo as residuais (WU et al., 2013).

4.7. Utilização do perifíton em substratos para biorremediação

Para o desenvolvimento do perifíton, podem ser utilizados diversos tipos de substratos artificiais, como exemplo: materiais de PVC (BENTO, 2005), cortinas de polietileno (plástico) (CRISPIM et al., 2009) fibra de vidro, acrílico, entre outros (MILSTEIN; PERETZ; HARPAZ, 2010; REBOUÇAS et al., 2012; SOUSA, 2015).

A utilização de substratos artificiais constitui uma boa opção para a instalação e permanência do biofilme e, para isso, deve-se levar em consideração o tipo de substrato a utilizar, o grau de rugosidade da superfície, a posição do substrato no corpo de água e sua localização (MARTINS; MOSCHINI, 2003). O PVC mostrou ser um bom substrato para a comunidade do perifíton em lagoa de estabilização, contribuindo para a melhoria do efluente em relação ao DBO₅ solúvel, sólidos em suspensão e na turbidez (BENTO, 2005).

Milstein, Peretz e Harpaz (2010) testaram o crescimento do perifíton em substratos de diferentes texturas, incluindo materiais naturais (folhas de palmeira) e artificiais (redes agrícolas, superfícies plásticas), para a cultura orgânica da tilápia com o intuito de melhorar a produção natural de perifíton, do qual a tilápia se alimenta, resultando os plásticos nas melhores alternativas de substrato.

Para o estudo do perifíton e sua relação com o estado trófico dos corpos de água, o uso de substratos artificiais tem sido amplamente empregado em pesquisas como bioindicadores de qualidade de água. Não obstante, diferentes estudos têm mostrado que o movimento da água, a luz, a temperatura e os nutrientes afetam o crescimento, diversidade e riqueza das algas epifíticas, assim como a turbidez, o nível e a qualidade da água (ALBAY; AKCAALAN, 2003). Pelas características fisiológicas do perifíton e os grupos taxonômicos que os compõem, este é bom indicador de mudanças ambientais e muito importante na captação de nutrientes e diferentes substâncias poluentes como resíduos de herbicidas, por exemplo (MONTUELLE et al., 2010).

Segundo pesquisas do potencial do perifíton como biorremediador, tem-se mostrado que o mesmo pode incrementar a eficiência na remoção natural de ferro (Fe) e chumbo (Pb) para o tratamento da água (WU et al., 2013). Pelo seu sistema de implantação e adaptabilidade com referência ao crescimento da comunidade e sua potencialidade de remoção de nutrientes como nitrato e fosfato (CRISPIM et al., 2009), o perifíton tem a capacidade de fornecer várias soluções para problemas de eutrofização e poluição da água.

Wu et al. (2011), trabalhando com o perifíton como biorredutores da coluna de água ao sedimento aquático de ambientes eutrofizados, verificaram que este atua como eficiente sequestrador de fósforo e desempenha um papel importante na remoção, absorção e transformação biológica do fósforo solúvel disponível. Wu et al. (2010) verificaram também que o perifíton pode controlar os “blooms” de cianobactérias tóxicas, pois em ambientes eutrofizados favorecidos pelas altas temperaturas, essas causam graves problemas de saúde tanto para os humanos quanto para todo o ecossistema aquático. O uso de estruturas suspensas como um substrato artificial para atrair e apoiar o perifíton são capazes de competir com as comunidades fitoplancônicas pelos nutrientes disponíveis (JAMES et al., 2001).

Crispim et al. (2009) compararam a eficiência de dois sistemas biorremediadores na absorção de nutrientes em um mesocosmo com água de um açude do semiárido e verificou que o sistema de perifíton foi eficiente na remoção de nutrientes, enquanto que o sistema com

macrófitas desempenhou uma função importante, mas com menor eficácia, principalmente na remoção de fósforo.

Sousa (2015) testando macrófitas e perifíton como biorremediadores em experimento em mesocosmos (controle, biofilme e macrófitas) e Pérez (2015) testando somente o perifíton (com e sem a presença desta comunidade aquática), em efluentes da lagoa facultativa da ETE em João Pessoa-PB, verificaram a eficiência no melhoramento da qualidade do efluente com esse tratamento, por retirar o fósforo da água, garantindo efluentes de melhor qualidade.

Pérez (2015) ao instalar o perifíton em um açude do semiárido, observou que o sistema remediador proporcionou o melhoramento da qualidade da água do ambiente, sobretudo no sentido montante das estruturas (sentido para onde soprava o vento); além disso, registrou-se maiores valores de transparência e oxigênio dissolvido após o uso do perifíton, assim como as espécies indicadoras de boa qualidade aquática do zooplâncton, como Copepoda Calanoida, que foram mais abundantes a montante, enquanto que as que exigem maior quantidade de alimento (ambiente mais eutrofizado) foram mais abundantes a jusante, como o Cladocera *Moina minuta* e o Copepoda Cyclopoida.

A maioria das pesquisas sobre a atuação do perifíton como biorremediador foram realizadas em ambientes lênticos, pouquíssimas foram as pesquisas feitas nos ambientes lóticos, principalmente os rios urbanos, que recebem, constantemente, grandes cargas de efluentes. Apenas um trabalho, executado com sucesso, já foi realizado no Rio do Cabelo, um rio urbano e com impacto por esgoto apenas na área das nascentes, apresentando uma grande capacidade de depuração, por atravessar áreas ainda florestadas (MARINHO, 2018). Dessa forma, avaliar o efeito do perifíton em um rio maior, como o Rio Jaguaribe, com interferência contínua ao longo do seu percurso por inserção de águas residuárias, faz-se imprescindível.

Uma tecnologia ainda em pesquisa, mas que visa a remediação de ambientes aquáticos são os biofiltros, que consistem na recirculação da água por meio do sistema constituído por pequenas pedras, distribuídas em camadas, com a finalidade de filtrar a água. Essas estruturas quando associadas ao perifíton, contribuem para a filtração da água. Esta técnica pode contribuir na redução das concentrações de amônia e nitrito decorrente das fezes e dos resíduos orgânicos lançados por homens e animais (VIEIRA, 2018).

Oliveira (2016) fez o uso dessa tecnologia (biofiltros) associado ao sistema do perifíton na criação em cativeiro do “camarão da malásia”, a fim de tratar a água do cultivo e observou que as concentrações de Oxigênio Dissolvido no cultivo com o biotratamento foram mais elevadas em relação ao cultivo controle, e que as concentrações de amônia também foram

menores no cultivo com o biotratamento, além de se observar melhorias nos parâmetros físicos da água e no aumento da biomassa do camarão nos viveiros que continham o perifíton.

Silva e Eying (2013) comparando o sistema convencional de lagoas e o filtro biológico dos processos de tratamento de efluentes de um Laticínio, averiguou que o sistema de biofiltro apresentou boa performance em relação ao convencional, havendo melhoria de todos os parâmetros analisados, sugerindo que a utilização do biofiltro foi a melhor alternativa para o tratamento de efluente.

As algas também podem ser utilizadas como fitorremediadoras de águas contaminadas. Macroalgas, como a *Eloдея canadenses*, já foi utilizada, apresentando um elevado desempenho na redução dos níveis de fósforo em águas eutróficas (GAO et al., 2009). Outra macroalga importante na fitorremediação de águas eutrofizadas é a *Porphyra yezoensis*, considerada uma espécie ativa na remoção do excesso de nutrientes em áreas costeiras eutróficas, reduzindo as concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fosfato (HE et al., 2008). No entanto, quando são utilizadas macroalgas ou outras macrófitas, o sistema de biotratamento não deixa de ser misto, visto que estes organismos também servem de substrato para o perifíton.

Entretanto, Souza (2015) defende que os microrganismos também são bons biodegradadores, demonstrando em pesquisas que esses possuem um elevado potencial, podendo degradar poluentes orgânicos em ambientes *ex situ* com condições controladas em laboratório; mas a ação potencial desses micro-organismos pode ser diferente no ambiente natural, devido às condições ambientais já estabelecidas. Sousa (2015) ainda disse que os principais fatores que interferem no ambiente natural são: a competição dos microrganismos, por sobrevivência e crescimento; a disponibilidade de nutrientes ou alimento; as condições aeróbias e anaeróbias; a variação de pH e de temperatura, entre outros fatores. Dessa forma, um conjunto de condições ambientais determina a ação e eficácia biodegradante dos microrganismos (PANDEY; FULEKAR, 2012).

4.8. Alterações nos rios urbanos em João Pessoa

De acordo com Reis (2016), a cidade de João Pessoa é permeada por diversos rios, riachos e córregos, dentre os quais nove se destacam por terem seu percurso totalmente inseridos na sua zona urbana ou de cidades vizinhas (Cabedelo e Bayeux) e os cursos de água são de vazão perene. São estes os principais: Sanhuá, Jaguaribe, Cabelo, Cuiá, Timbó, Laranjeiras, Jacarapé, Camurupim e Aratu.

No caso, a gestão dos rios urbanos em João Pessoa-PB, segundo a Política Estadual de Recursos Hídricos, adotada pela Paraíba (1996), é responsabilidade do Estado. Entretanto, diversos fatores comprometem uma gestão integrada e eficiente, como é possível comprovar através do monitoramento feito durante o período da pesquisa e outras evidências coletadas que serão apresentadas posteriormente.

Somente com esse parâmetro de qualidade da água pelo lançamento de esgoto bruto, já é possível inferir sobre outra vulnerabilidade vinculada à omissão de ações institucionais em nível Estadual e Municipal. Por exemplo, o não fornecimento completo de serviço de coleta de esgoto sanitário e de coleta de resíduos sólidos; a falta de monitoramento das Zonas de preservação, já previsto no Plano Estadual de Recursos Hídricos e no Plano Diretor da cidade de João Pessoa (PMJP, 2009) e; a consequente impunidade aos entes públicos ou privados que degradam as Áreas de Preservação Permanente.

Os rios que atravessam o município de João Pessoa tiveram seus cursos quase que em sua totalidade alterados, devido ao processo de urbanização, consequentemente ampliando a rede de microdrenagem das águas pluviais e alterando o regime da rede de drenagem da cidade. Desse modo, os rios saturam em volume de água e degradam a qualidade da mesma, causando transtornos sociais e econômicos em determinadas áreas da cidade, principalmente nas que estão localizadas próximas aos rios (REIS, 2016).

Em razão dos diversos impactos citados, a qualidade e a quantidade de água disponível nos rios brasileiros foram sendo ao longo dos anos reduzidas, chegando à situação que é observada atualmente em muitos centros urbanos que passaram dos limites suportáveis para o seu uso, tornando-se ambientes degradados e receptores de esgotos e resíduos, muitas vezes com mau odor (TÂNGARI, 2007).

4.9. Rio Jaguaribe

A Bacia do Rio Jaguaribe está localizada no município de João Pessoa, no Estado da Paraíba, entre as coordenadas cartesianas bidimensional UTM 9216000mN/299000E e 9206000mN/287000E (OLIVEIRA, 2001). De acordo com Meira (2014), o Rio Jaguaribe é considerado como um rio totalmente intraurbano, um dos mais importantes da capital paraibana.

Essa Bacia Hidrográfica limita-se com o Oceano Atlântico ao leste, com a Bacia do Rio Marés, ao oeste, com a Bacia do Rio Mandacaru e Bacia do Rio Sanhauá ao norte e ao sul com as Bacias dos Rios Cuiá, Gramame e Cabelo (OLIVEIRA, 2001).

Não há um consenso sobre onde é realmente a nascente do Rio Jaguaribe. Sabe-se, de acordo com Melo et al. (2001), e Oliveira (2001) que o rio nasce no Conjunto Esplanada, em pequenos afloramentos. No entanto, Vital e Travassos (2015) afirmaram que a nascente mais distal está nas conhecidas Três Lagoas. Porém, todos concordam que esses locais são importantes para a formação do Rio Jaguaribe.

Após a sua nascente mais distal, um conjunto de tributários de primeira e segunda ordem, olhos de águas e drenos alimentam o canal principal, tendo como o principal afluente o rio Timbó pela margem direita (DIEB; MARTINS, 2017). A extensão do rio era de aproximadamente 21 Km no seu trajeto original (DIEB; MARTINS, 2017), antes de ser desviado para o rio Mandacaru (MEIRA, 2014; MEDEIROS, SILVA-JUNIOR, 2016).

É importante destacar que, de acordo com Medeiros; Silva-Júnior (2016), o Rio Jaguaribe teve o seu curso natural alterado, mudança ocorrida na década de 1930. Devido à pressão imobiliária e à instalação de empreendimentos, esse rio, que antes desaguava entre as praias do Bessa e Intermares (Cabedelo-PB), passou a somar-se ao Rio Mandacaru, desaguando no Rio Paraíba e desembocando no Oceano Atlântico, em Cabedelo - PB.

Atualmente, de acordo com Meira (2014), o curso do Rio Jaguaribe, logo após o local desviado, encontra-se na situação de canalizado e bastante poluído por causa do intenso processo de urbanização e/ou aglomeração, sem infraestrutura de saneamento adequado ao longo das suas margens, considerado pelos moradores locais como a parte do “Rio Morto”.

Com base em Marinho (2011), o alto curso fluvial do rio Jaguaribe se estende desde sua nascente até a Avenida Pedro II, nas imediações do Jardim Botânico Benjamim Maranhão. Desse ponto, até a confluência com o rio Timbó, ocorre à área do médio curso. O baixo curso fluvial representa a área que se estende desde o seu limite com o médio curso, até a sua foz, no rio Mandacaru.

A respeito da Geomorfologia do Rio Jaguaribe, de acordo com Furrier (2007), a sua Bacia Hidrográfica está localizada na faixa litorânea do Estado da Paraíba, nos Baixos Planaltos Costeiros ou Tabuleiros Litorâneos. Além dessa unidade morfológica, há também a existência da Planície Fluvial, da Planície Fluviomarinha e da Planície Costeira, das falésias e das vertentes, como mostrado na Figura 7.

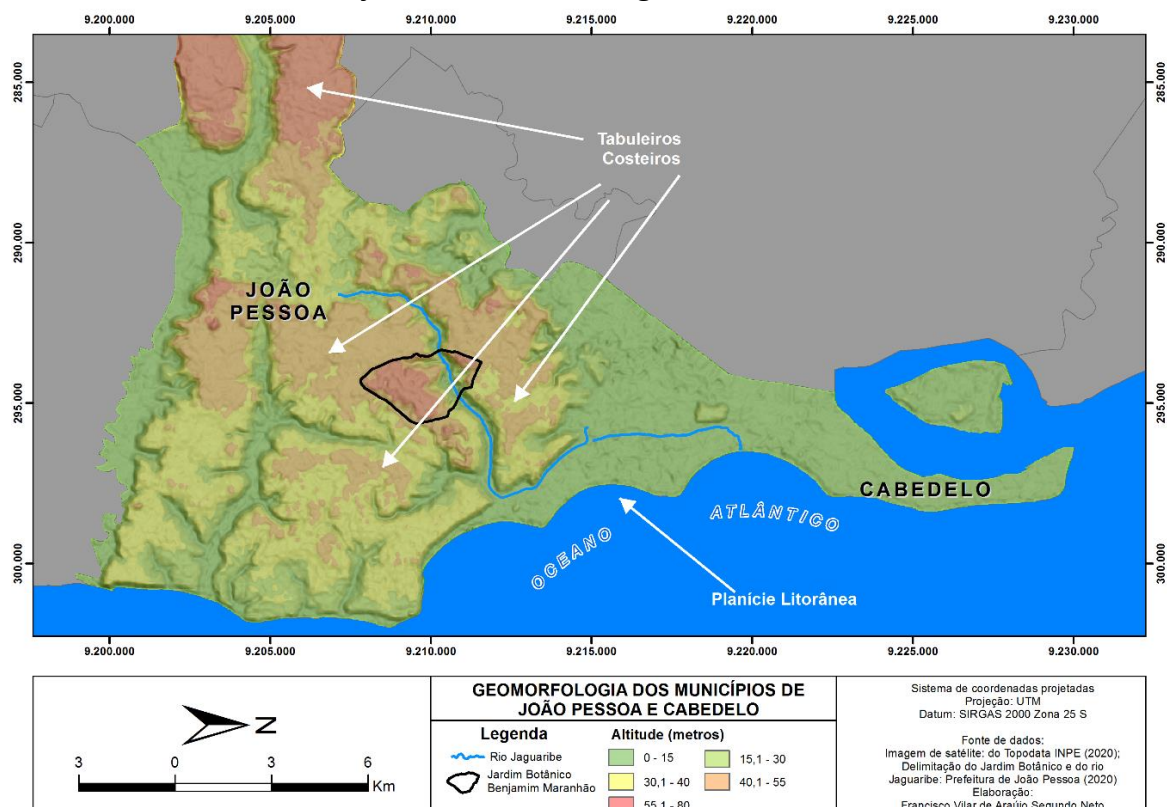
O caminho atual do Rio Jaguaribe, da nascente até as suas desembocaduras (a desviada artificialmente e a natural), assim como os bairros que este rio atravessa está evidenciado no Quadro 1.

Quadro 1. Bairros de João Pessoa-PB e de Cabedelo-PB em que o Rio Jaguaribe atravessa ao longo do seu curso e o trajeto percorrido pelo rio, em quilômetros.

Curso do Rio Jaguaribe	Bairros na margem esquerda	Bairros na margem direita
ALTO CURSO (nascente do Esplanada até a Av. Pedro II). Trajeto: 6 Km.	Jardim Veneza e Distrito Industrial (as 3 Lagoas), Oitizeiro (Bairro dos Novais), Cruz das Armas, Jaguaribe, Jardim Botânico Benjamim Maranhão.	Ernany Sátiro, Costa e Silva, João Paulo II, Cristo Redentor, Varjão (Rangel), Jardim Botânico Benjamim Maranhão.
MÉDIO CURSO (Av. Pedro II até Encontro com Rio Timbó). Trajeto: 3,24 Km.	Torre, Expedicionários, Tambauzinho, Miramar.	Castelo Branco, Altiplano,
BAIXO CURSO (Encontro com rio Timbó até o desvio para o rio Mandacaru) Trajeto: 4,46 Km.	Brisamar, São José, Bairro dos Ipês	Tambaú, Cabo Branco, Manaíra.
BAIXO CURSO (do Manaíra Shopping até encontro com Oceano Atlântico - trajeto natural) Trajeto: 5,40 Km.	Renascer, Amazônia Park e Intermars (todos estes bairros do município de Cabedelo-PB).	Manaíra, Aeroclube, Jardim Oceania e Bessa.
Trajeto total: 19,1 Km.	Total: 15 bairros	Total: 14 bairros

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 7. Localização das duas unidades geomorfológicas do município de João Pessoa e Cabedelo, evidenciando o trajeto natural do Rio Jaguaribe.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

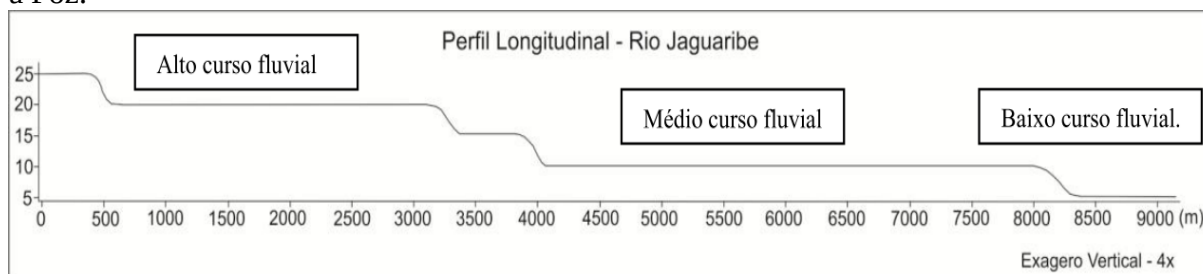
Assim, segundo Marinho (2011), o alto e o médio curso do rio Jaguaribe estão localizados sobre os terrenos sedimentares dos tabuleiros litorâneos, enquanto o baixo curso está entalhado sobre as planícies costeiras.

Para o baixo curso do Rio Jaguaribe, há a formação de Manguezal, ratificando a influência das marés sobre o sistema fluvial da bacia do Rio Jaguaribe. A formação de mangue ocorre na desembocadura atual do Rio Jaguaribe, exatamente na confluência com o Rio Mandacaru, entre os Bairros São José, Manaíra e Ipês, bem como na sua antiga foz, na divisa dos Municípios de João Pessoa e Cabedelo, no bairro do Bessa (MELO et al., 2001).

No entanto, Meira (2014) destaca que por causa da grande especulação imobiliária no baixo curso do Rio Jaguaribe, grande parte da vegetação nativa foi desmatada, sobrando apenas manchas de mangue, principalmente na divisa das praias do Bessa e Cabedelo e ainda na confluência desse rio com o rio Mandacaru.

O Rio Jaguaribe apresenta-se com poucas variações do nível de base, cujo perfil longitudinal demonstrou uma variação de 25m da cabeceira até 5m onde desemboca no Rio Mandacaru. Isso evidencia o quão suave se apresenta o relevo na bacia (SANTOS, 2016), como mostra a Figura 8.

Figura 8. Perfil longitudinal do Vale do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, desde da Nascente até a Foz.



Fonte: Santos (2016).

4.10. Áreas verdes e o Jardim Botânico Benjamim Maranhão

As áreas verdes, principalmente a mata ciliar, além de ser uma proteção natural contra a erosão das margens e o assoreamento dos rios, possui importância na manutenção de boa qualidade da água para uso e consumo humano e a conservação dessas áreas naturais, garantindo a biodiversidade da região (REIS et al., 2018).

No entanto, a redução da vegetação no município de João Pessoa-PB, nas últimas quatro décadas, pode ser atribuída à demanda por solo desnudo para implantação de equipamentos

urbanos, como indústrias, residências, entre outros. Estas transformações são ocasionadas, em grande parte, pela especulação e déficit imobiliário (MEIRA, 2014).

Sobre o estudo de remanescentes de áreas verdes, Dantas et al. (2017), ao analisar a vegetação de João Pessoa, considerando o ano de 2015, constataram que a área total da classe vegetação remanescente foi de 68,15 km², correspondendo a 32,23% da área total do município. Ressalta-se que essa vegetação encontra-se fragmentada em 48 manchas, de diferentes tamanhos, formas e níveis de suscetibilidade (vinculadas à presença de áreas núcleos, na qual a ausência dessas é interpretada como apresentando elevado grau de suscetibilidade). Os maiores fragmentos vegetacionais encontram-se ao norte, no bairro Alto do Céu; ao centro, na Mata do Buraquinho, delimitada pelos bairros do Varjão, Jaguaribe, Água-fria, Jardim São Paulo, Bancários, Castelo Branco e Torre; ao oeste, nos bairros Ilha do Bispo e Cruz das Armas; ao leste, nos bairros Castelo Branco, Altiplano e Bancários; ao sudeste, no bairro Costa do Sol; e na porção sul, em Muçumagro, Gramame e Mumbaba.

Ainda, de acordo com Dantas et al. (2017), os fragmentos de maior área de cobertura estão inseridos em importantes bacias hidrográficas no município, a saber: Bacia hidrográfica (BH) do Rio Paraíba (fragmento vegetacional ao norte), BH do Rio Jaguaribe (fragmento vegetacional Mata do Buraquinho), BH do Rio Cuiá (fragmento vegetacional na porção sudeste), BH do Rio Gramame (fragmento vegetacional ao sul e sudoeste), entre outros.

O fragmento da Mata do Buraquinho, apesar de ser o maior fragmento de remanescente de Mata Atlântica e de forma circular, situado em área urbana, é alvo de um intenso efeito de borda, sobretudo pela proximidade de rodovias de grande porte e fluxo intenso e das edificações no entorno (SOUZA et al., 2019).

A Mata do Buraquinho é cortada pelo Rio Jaguaribe, um dos afluentes do Rio Paraíba e o mais extenso rio urbano da capital paraibana, ao ser represado forma o Açude do Buraquinho no interior do homônimo remanescente. A Mata do Buraquinho só foi preservada por consequência da necessidade de proteção do Açude do Buraquinho, de onde provinha parte do abastecimento público de água potável da capital paraibana (SOUZA et al., 2019).

A área onde atualmente localiza-se o Jardim Botânico foi adquirida pelo Estado da Paraíba em 1907 para dar início às obras de abastecimento de água da cidade de João Pessoa. O serviço de abastecimento foi inaugurado em 1912 e funcionava através de 33 poços construídos ao longo da Mata Atlântica, bombeados por duas caldeiras a vapor. Em 1940, foi inaugurada a Barragem do Buraquinho, que represou o Rio Jaguaribe para melhorar a realimentação do lençol freático (LUCENA, 2002), o projeto deu início ao processo de

desmatamento e degradação da área, tanto com a abertura de avenidas e estradas quanto com a passagem da tubulação e construção de equipamentos (GADELHA-NETO, 2012).

Finalmente em 14 de julho de 2000, de acordo com a SUDEMA (2014), o governo da Paraíba adquiriu da CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba) uma área de 329,39 hectares, mas, foi só em 28 de agosto de 2000, com o Decreto de nº 21.264 que foi efetivada a criação do Jardim Botânico Benjamim Maranhão e, em 23 de julho de 2014, por meio do Decreto de nº 35.195 foi criada, com uma área de 519 hectares, a unidade de conservação de proteção integral Refúgio de Vida Silvestre (RVS) na “Mata do Buraquinho (BRITO; VANZELLA, 2018). Nessa Mata, também está situada a sede do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

O Jardim Botânico Benjamim Maranhão, está localizado na “Mata do Buraquinho”, sendo uma das maiores áreas remanescentes de Mata Atlântica em área urbana do Brasil, localizado em João Pessoa-PB. É considerado importante ambientalmente para o controle de temperatura da cidade e o próprio bem-estar e qualidade de vida da população em geral (BRITO; VANZELLA, 2018). Essa Reserva encontra-se em uma região central do município de João Pessoa, fazendo limite com os bairros de Castelo Branco (onde está situada a UFPB, *Campus I*), Jardim São Paulo, Água Fria, Cristo Redentor, Rangel, Jaguaribe, Torre e Expedicionários (MÉLO, 2015).

De acordo com o CONAMA nº 339/2003, um Jardim Botânico é uma área protegida, constituída, no seu todo ou em parte, por coleções de plantas vivas cientificamente reconhecidas, organizadas, documentadas e identificadas, com a finalidade de estudo, pesquisa e documentação do patrimônio florístico do país, acessível ao público, no todo em parte, servindo à educação, à cultura, ao lazer e à conservação do meio ambiente. Sua principal função é a pesquisa, a conservação de fauna e flora, a preservação e proteção de espécies econômica e ecologicamente importantes para a restauração ou reabilitação de ecossistemas, mais a educação ambiental que é fundamental importância, pois, através dela os visitantes irão ter a percepção e a sensibilização de lazer compatível e sua utilização sustentável (BRASIL, 2003).

Embora o maior foco de desenvolvimento de projetos científicos seja em relação à Flora (FREITAS, 2011; DANTAS et al., 2017), a Educação Ambiental e ao Ecoturismo (OLIVEIRA; NISHIDA, 2011), também tem a importância na depuração do rio Jaguaribe. Cavalcanti (2013) demonstrou que o Jardim Botânico Benjamim Maranhão tem uma importante função de melhorar a qualidade da água do rio Jaguaribe, por causa de uma maior cobertura de mata ciliar,

ausência de lançamentos de esgotos, somadas à presença de algumas nascentes dentro da mata, ajudam na melhora da qualidade da água do rio.

4.11. Percepção dos ribeirinhos

A busca da percepção e a sensibilização ambiental dos ribeirinhos que utilizam, diretamente, os recursos naturais de uma bacia hidrográfica podem contribuir, igualmente, para a prevenção tanto da saúde quanto da degradação dos recursos naturais a ela associadas.

Por isso, atualmente, acredita-se que o estudo da percepção ambiental dos ribeirinhos é o melhor caminho para produzir os melhores planos de ações na educação ambiental e/ou gestão ambiental; Isso porque, como um ser social, o ser humano é um agente que pode transformar e manipular a natureza e, ao modificá-la, institui um espaço quase que somente seu, sem se preocupar com as consequências dessa ocupação (XAVIER; NISHIJIMA, 2010).

Dias, Rosa e Damasceno (2007) diz que é preciso valorizar o conhecimento ambiental dos ribeirinhos que vivem em aglomerados urbanos, aproveitando-se para que os responsáveis em tomar as decisões de políticas públicas reavaliem e incorporem na sua agenda, ao invés de ser ignorado e desperdiçado, como geralmente ocorre.

De acordo com Merleau-Ponty (2006), a percepção não é sinônimo de conhecimento da realidade, mas a base para a ação, se relacionando ao mundo sentido e vivido e não ao juízo ou à razão.

Desse modo, os costumes e usos do ambiente pelos humanos, principalmente sobre os recursos hídricos, podem produzir alterações ecológicas, muitas vezes de modo significativo, gerando impactos ambientais negativos, às vezes irreversíveis (MUCELIN; BELLINI, 2008).

Logo, interpretar realidades ambientais de ribeirinhos locais significa colocá-los em evidência pela sua participação. Entretanto, tal fato necessita de cuidados na decisão de selecionar as ferramentas mais adequadas de análises, sobretudo quando a apropriação de narrativas desses atores participantes do processo investigatório são incorporadas ao viés acadêmico (SOUSA; SOUZA, 2017).

Estudos que relacionam o conhecimento dos ribeirinhos locais sobre os seus conceitos relacionados com a natureza têm sido cada vez mais reconhecidos pela academia (PEREIRA et al., 2006). Lima (2010) acrescentou que focalizar os estudos na direção da degradação ambiental nas bacias hidrográficas é de extrema importância para o entendimento da relação sociedade-natureza.

Logo, de acordo com Souza, Abílio e Ruffo (2018), faz-se necessário uma maior e mais firme interseção entre o conhecimento científico e o saber popular para que essas informações sejam bem assimiladas pelos ribeirinhos com o intuito dar continuidade a trabalhos futuros que abordem a questão da interação humanos *versus* natureza, como uma forma de conservá-la.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Coleta de Dados

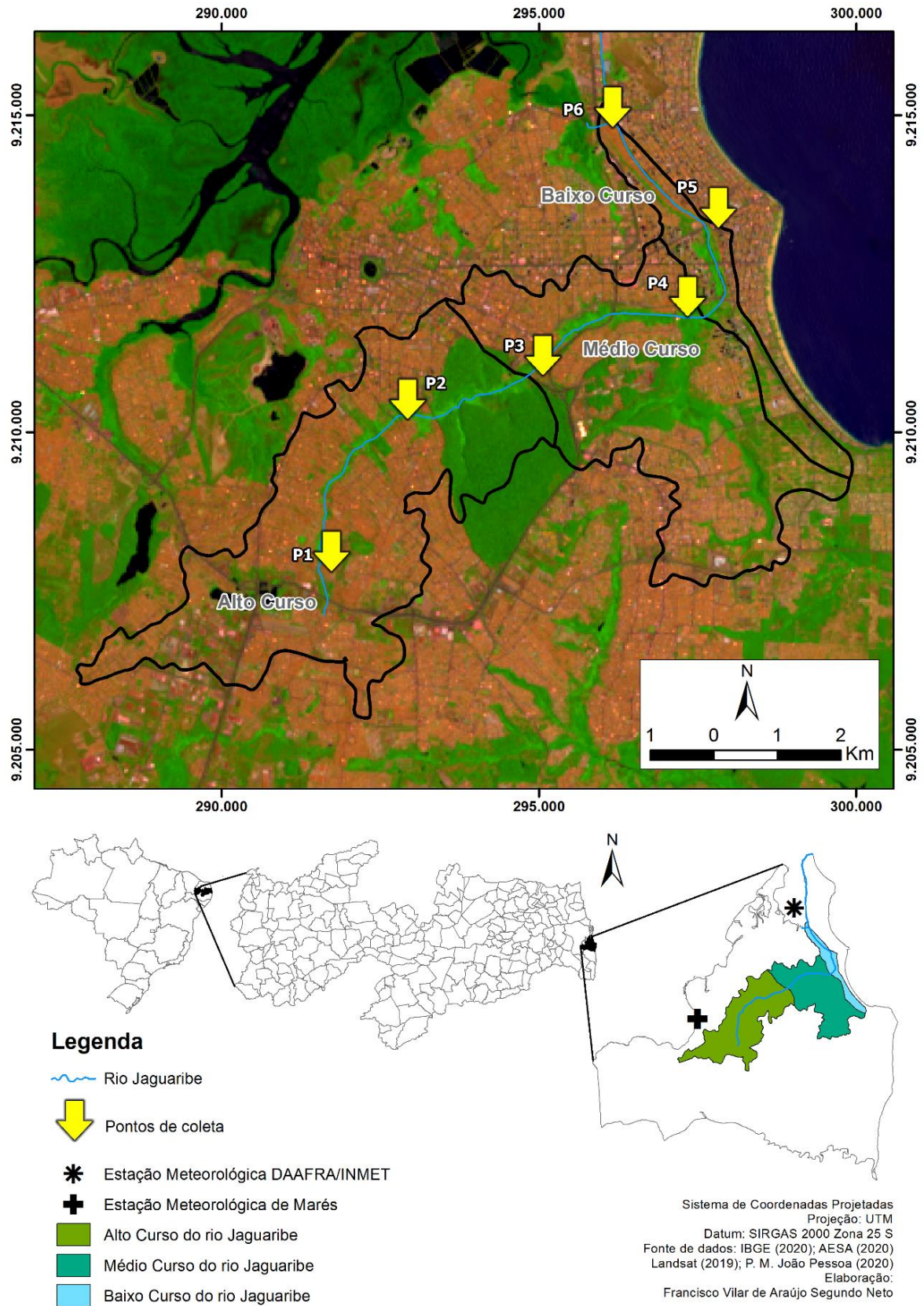
Para os locais de coleta do presente trabalho no Rio Jaguaribe, foram selecionados seis pontos, denominados P1, P2, P3, P4, P5 e P6, de montante para jusante (Figura 9), sendo da cabeceira até o desvio do Rio Jaguaribe para o Rio Mandacaru (uma distância de 13,7 Km de trajeto), por trás do Manaíra Shopping. Não foi considerado neste presente trabalho a parte “morta” do Rio Jaguaribe.

Os Pontos 1 e 2 estão dentro dos Limites do Alto Curso do Rio Jaguaribe. O **P1** está localizado na comunidade Jardim Guaíbas, no bairro Oitizeiro (291526m E/ 9207820m S UTM), está numa área onde havia plantação de várzea nas suas margens e, ao mesmo tempo, sob influência do esgoto que efluía do condomínio Vale das Palmeiras (no bairro do Cristo Redentor) e de canalização de esgoto que vinha de forma clandestina nas canalizações pluviais. Além disso, houve a canalização por alvenaria no rio, de forma parcial, por iniciativa dos moradores locais. Houve intervenção da dragagem recentemente, deixando a margem esquerda com sedimentos depositados. Atualmente, foi construída uma estação elevatória da CAGEPA no local no início de maio de 2019.

O **P2**, está localizado no Bairro Varjão, (292728m E/ 9210218m S UTM) mais precisamente na “ladeira do Varjão” (sentido Bairro Jaguaribe para o Bairro Varjão), no pontilhão. Está dentro de uma área florestada, sombreada pelas copas das árvores e com efluência clandestina de esgoto advindos dos Bairro Jaguaribe e Varjão (Rangel).

No Médio Curso do Rio Jaguaribe, estão os Pontos 3 e 4. O **P3** está localizado na saída da Mata do Buraquinho e início na Comunidade São Rafael (294857m E/ 9210908m S UTM), no local que os próprios moradores chamam de “Baiúca”. Cem metros a jusante da ponte sob a Av. Pedro II, começa novamente o lançamento de esgoto advindos dos bairros do entorno do rio, através de tubulação de grande dimensão (da CAGEPA). Este local também sofre intervenção periódica da dragagem, realizada pela defesa civil do município de João Pessoa.

Figura 9. Representação da Bacia do rio Jaguaribe, no município de João Pessoa-PB, e os respectivos pontos de coleta da água e do sedimento, além das estações meteorológicas de Marés (AESa) e DAAFRa (INMET).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentro da Mata do Buraquinho também tem uma galeria que libera água residuária no Rio Jaguaribe, advinda do bairro adjacente.

Enquanto isso, o **P4** localiza-se próximo ao limite com o baixo curso do rio, a 500 m do encontro com o afluente do Rio Timbó, na Comunidade Tito Silva, próximo à ponte que liga os bairros Miramar e Castelo Branco (297138m E/ 9211839m S UTM). Periodicamente, há intervenção de dragagem por parte da defesa civil do município, cujo sedimento escavado está depositado na margem direita do rio.

Os Pontos 5 e 6 estão no Baixo Curso do Rio Jaguaribe. O **P5** está no início do Bairro São José, próximo à ponte da Av. Rui Carneiro (297620m E/ 9213235m S UTM). Neste local houve uma melhoria na urbanização na margem esquerda do rio, o que implicou em depósito de entulhos neste ponto do Rio Jaguaribe.

Por último, o **P6**, está no trajeto do rio que foi desviado desde 1930 para o Rio Mandacaru, próximo à ponte da BR 230, no Final do Bairro São José, por trás do Manaíra Shopping (295958m E/ 9214824m S UTM).

A respeito do tipo de vegetação, de acordo com Santos et al. (2018), a vegetação nativa representa os resquícios de Mata Atlântica presente na cidade de João Pessoa, estando sua maior área de ocorrência inserida, exatamente, entre os limites da bacia do Rio Jaguaribe, na transição entre o baixo e o médio curso fluvial e dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão (Mata do Buraquinho).

Porém, Costa e Araújo (2012) afirmaram que o Rio Jaguaribe já apresenta um alto grau de desmatamento; cerca de 80% de seu curso já não possui nenhum tipo de vegetação. Isto devido à urbanização, que por sua vez, é o tipo de ocupação que está em maior evidência na área de estudo, o qual se encontra em estágio de crescimento (SANTOS et al., 2018).

5.2. Precipitação pluviométrica

Os dados pluviométricos do município de João Pessoa foram obtidos no Site da AESA (PARAÍBA, 2018; PARAÍBA, 2019), sendo levado em consideração os dados das estações meteorológicas de Marés (289211m E/ 9208556m S UTM), localizado na Companhia de Águas e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA) - Unidade Marés; e da Delegacia Federal de Agricultura - DFAARA/ INMET (295836m E/ 9215299m S UTM), localizado na Superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Paraíba, em Cabedelo-PB.

Por uma questão de proximidade entre as estações meteorológicas e para ser mais fidedigno com a realidade e os pontos de coleta no Rio Jaguaribe, definiu-se, neste trabalho, que os dados pluviométricos mensais da estação de Marés foram relativos aos pontos P1 e P2 e os da DFAARA /INMET foram para os outros pontos P3, P4, P5 e P6.

5.3 Variáveis físicas e químicas da água

Para a Avaliação das variáveis físicas e químicas da água do Rio Jaguaribe que puderam ser analisadas em campo, utilizou-se uma sonda multiparâmetros, da marca HORIBA para medir o Oxigênio Dissolvido, Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Sólidos Dissolvidos Totais.

Este equipamento, antes de ser utilizado em cada coleta, era lavado com água corrente, calibrado (quando as sondas estavam mergulhadas na solução padrão do HORIBA), e, após todo esse procedimento, era lavado com água destilada. Durante as coletas, de um ponto de coleta para outro os sensores da sonda multiparâmetros foram sempre lavados com água destilada. Para gravar os resultados do HORIBA, assim que os parâmetros se encontravam estabilizados, registravam-se fotografias e vídeos evidenciando o ponto e a data da coleta.

Para as variáveis de Nitrato, Nitrito, Amônia, Ortofosfato e Fósforo Total, as amostras de água foram coletadas com garrafas de água mineral, previamente lavadas em ácido clorídrico, armazenadas num isopor com gelox para reduzir a temperatura e evitar alterações por conta da luz solar; no laboratório, estas foram filtradas em filtros GF-C com bomba a vácuo e armazenadas, em outras garrafas de água mineral, também previamente lavadas em ácido clorídrico e devidamente etiquetadas, em freezer, até que a análise fosse realizada.

As técnicas de análise de amostras de água seguiram as metodologias resumida no Quadro 2.

Quadro 2. Parâmetros analisados no Laboratório de Ecologia Aquática/UFPB (LABEA).

Parâmetro	Método/Comprimento de onda (nanômetro)	Referência
Amônia	Fenol - Colorimétrico/(640nm)	EATON et al. (2005)
Fósforo Total	Ác. Ascórbico – Color./(880nm)	EATON et al. (2005)
Nitrato	Brucina - Colorimétrico/(415nm)	FRIES; GETROST (1977)
Nitrito	Sulfanilamida - Color./(543nm)	EATON et al. (2005)
Ortofosfato	Ác Ascórbico - Color./(880nm)	EATON et al. (2005)

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4. Tratamento estatístico

Para as análises referentes ao monitoramento dos pontos e para o biotratamento, utilizou-se o método dos Mínimos Quadrados Generalizados (GLS - *Generalized Least Squares*) para testar os efeitos dos pontos de amostragem, estação do ano (chuva/estiagem) e referência (montante ou jusante) sobre as variáveis físicas e químicas e sobre a densidade e índices de diversidade bentônicos. A GLS assume uma estrutura de autocorreção de primeira ordem dos resíduos. Para isto, assume-se como variável de autocorrelação os meses.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software livre R, versão 3.5.1 (R, 2018).

REFERÊNCIAS

- AFONSO, J. A. C. **Renaturalização e Revitalização de Rios Urbanos: Uma Abordagem Sistêmica**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2011.
- ALBAY, M.; AKCAALAN, R. **Comparative study of periphyton colonisation on common reed (*Phragmites australis*) and artificial substrate in a shallow lake, Manyas, Turkey**. Hydrobiologia 506-509: 531-540, 2003.
- ALVES, T.M.S.; SILVA, C.A.; SILVA, N.B.; MEDEIROS, E.B.; VALENÇA, A.M.G.. **Atividade Antimicrobiana de Produtos Fluoretados sobre Bactérias Formadoras do Biofilme Dentário: Estudo in vitro** Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada, 10(2): 209-216, 2010.
- ARAÚJO, L. E.; SANTOS, M. J.; DUARTE, S. M.; OLIVEIRA, E. M. **Impactos ambientais em bacias hidrográficas – caso da bacia do Rio Paraíba**. Tecno-lógica, 13(2): 109-115, 2009.
- ARIAS, A.R.L.; BUSS, D.F.; ALBURQUERQUE, C.; INÁCIO, A.F.; FREIRE, M.M.; EGLER, M.; MUGNAI, R.; BAPTISTA, D.F.. **Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos**. Ciência e Saúde Coletiva, 12(1), 61-72, 2007.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **Água: tratamento e qualidade**. Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 465p, 1964.
- AZEVEDO NETO, J.M. **Novos conceitos sobre eutrofização**. Revista DAE, 48(151): 22–28, 1988.
- BABICK, L.; RHODEN, A. C. **Avaliação de macroinvertebrados bentônicos, qualidade físico-química e microbiológica da água do Lajeado Rickia**. Revista Ciências Agroveterinárias e Alimentos, n. 3, 2018.
- BALDWIN, D.S.; MITCHELL, A.M.; REES, G.N.; WATSON, G.O.; WILLIAMS, J.L. **Nitrogen processing by biofilms along a lowland river continuum**. River Research and Applications 22: 319-326, 2006.

- BATTIN, T.J.; KAPLAN, L.A.; NEWBOLD, J.D.; HANSEN, C.M.E. **Contributions of microbial biofilms to ecosystem processes in stream mesocosms**. *Nature*, 426, 439e442. 2003.
- BENTO, A. P. **Tratamento de esgoto doméstico em lagoas de estabilização com suportes para o desenvolvimento de perifiton- biofilme**. Tese. Universidade Federal de Santa Catarina. 197p., 2005.
- BERGAMIN, L. L. N., **Avaliação da estrutura e dinâmica das algas perifíticas em sistema de piscicultura intensiva e sua contribuição para o manejo sustentável**. Monografia – Curso de Ciências Biológicas, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 70 f., 2016.
- BICUDO, C.E.M.; BICUDO, D.C. **Amostragem de Invertebrados Bentônicos**. Amostragem em Limnologia, São Carlos-SP: RiMa. 371p. 2004.
- BIGUELINI, C.P.; GUMY, M.P.. **Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná**. *Revista Faz Ciência*, 14(20): 153-175, 2012.
- BIOLO, E; RODRIGUES, L. **Composição de algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) em distintos substratos naturais de um ambiente semilótico, planície de inundação do Alto Rio Paraná, Brasil**. *Brazilian Journal of Botany*, 34(3): 307-319, 2011.
- BOBADILHA, S.F.. **Análise das atividades antrópicas e seus impactos sobre a qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do córrego Lajeado, Campo Grande/MS, Brasil**. *Geofronter*, Campo Grande, 5(4): 164-182, 2019.
- BOOPATHY, R. **Factors limiting bioremediation technologies**. *Bioresource Technology*. 74: 63-67, 2000.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 1**, de 23 de janeiro de 1986.
- BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 339**, de 25 de setembro de 2003.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. 2005. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 430**, de 13 de maio de 2011.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**, Brasília: ANA, 2019, 110p.
- BRAVIN, L.F.N.; VELINI, E.D.; REIGOTTA, C.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M.R.; CARBONARI, C.A.. **Desenvolvimento de equipamentos para controle mecânico de plantas aquáticas na UHE de Americana, SP**. *Planta Daninha*, 23(2): 263-267, 2005.
- BRITO, E.F.A.; VANZELLA, E.. **Jardim Botânico Benjamim Maranhão: contribuições para a cidade de João Pessoa**. *Revista Mangia Acadêmico*, 2(2): 07-14, 2018.
- BRIGANTE, J.; DORNFELD, C.B.; NOVELLI, A.; MORRAYE, M.A. **Comunidade de macroinvertebrados bentônicos no rio Mogi-Guaçu**. 181-187pp. In: BRIGANTE, J. ESPÍNDOLA, E.L.G. (org.), *Limnologia fluvial*. Editora RIMA. São Carlos – SP. 2003.

BURLIGA, A. L.; SCHWARZBOLD, A.. Perifíton: Diversidade Taxonômica e Morfológica, p. 1 – 6. In: SCHWARZBOLD, A.; BURLIGA, A. L.; TORGAN, L. C.. **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa editora, 413p, 2013.

BUSS, D.F.. **Utilizando macroinvertebrados bentônicos de um programa integrado de avaliação de qualidade da água de rios**. Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, rio de Janeiro, 2001.

BUSS, D.F.; BAPTISTA, D.F.; SILVEIRA, M.P.; NESSIMIAN, J.L.; DORVILLÉ, L.F.M.. **Influence of water chemistry and environmental degradation on macroinvertebrate assemblage in a stream basin in Southeast Brazil**. Hydrobiologia 481(82):299-305, 2002.

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, 8(1): 186-205, 2013.

CAIN, M. L.; BOWMAN, W. D.; HACKER, S. D. **Ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018.

CARNEIRO, D.A.; GANGLIO, L.P.; **A Biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos**. Revista Tecer, 3(4): 82 - 95, 2010.

CAVALCANTI, R.G. **Influência da Mata do Buraquinho sobre a qualidade da água do rio Jaguaribe**. Monografia (TCC) apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba, 55f, 2013.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Mortandade de Peixes** - 2019. Acessado em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/contaminantes/amonia/>>, às 10:55 em 10 de dezembro de 2019.

CHAGAS, P.F.; SALES, R.J.M.; GOMES, V.U.; MATTOS, A.; SOUZA, R.O.. **Análise de risco em rios, sujeito a lançamento de efluentes através da aplicação da teoria Fuzzy**. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina, 10(1): 69-75, jan./jun, 2013.

CLEMENTS, W. H.. **Integrating effects of contaminants across levels of biological organization**. Journal of Ecosystem Stress and Recovery 7:113-116. 2000.

COSTA, O.T.F.; FERREIRA, D.J.S.; MENDONÇA, F.L.P.; FERNANDES, M.N. **Susceptibility of the Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae), to short-term**. Aquaculture, 232: 627 – 636, 2004.

COSTA, D. S. B.; ARAÚJO, M. P.. **Turismo: vantagens ou perdas para as comunidades locais?** Caos – Revista Eletrônica de Ciências Sociais/UFPB, 21: 120 – 126, 2012.

COSTERTON, J.W.; GEESEY, G.G.; CHENG, K.-J.. **“How Bacteria Stick.”** Scientific American, 238(1): 86–95, 1978.

COSTERTON, J.W.; STEWART, P.S.; GREENBERG, E.P.. **Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections**. Science. 284 (5418): 1318-22, 1999.

CRISPIM, M. C.; VIEIRA, A. C. B.; COELHO, S. F. M; MEDEIROS, A. M. A. **Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming**. Acta Limnol. Bras., 21(4): 387-391, 2009.

CRUZ, R.A.; CIZONE, M.C.A.; MEDEIROS, V.K.; OLIVEIRA, P.S.. **Feridas complexas e o biofilme: atualização de saberes e práticas para enfermagem**. Revista Rede de Cuidados em Saúde, 10(3): 1 – 11, 2016.

DANTAS. M.S.; ALMEIDA, N.V.; MEDEIROS, I.S.; SILVA, M. D.. **Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos**. Journal of Environmental Analysis and Progress, 2(1): 87-97, 2017.

- DIAS, T. L. P.; ROSA, R.S.; DAMASCENO, L. C. P. **Aspectos Socioeconômicos, Percepção Ambiental e Perspectivas das Mulheres Marisqueiras da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (Rio Grande do Norte, Brasil)**. Gaia Scientia 1(1): 25-35, 2007.
- DIEB, M. A.; MARTINS, P. D. **O Rio Jaguaribe e a história urbana de João Pessoa/Pb: da harmonia ao conflito**. XVII ENANPUR. Sessões Temáticas 7: Cidade e História. São Paulo, 2017.
- DODDS, W. K.. **The Role of Periphyton in Phosphorus Retention in Shallow Freshwater Aquatic Systems**. J. Phycol. 39: 840–849, 2003.
- DONLAN, R.M.; COSTERTON, J.W.. **Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms biofilms**. Clinical Microbiology Reviews, 15(2): 167-193, 2002.
- DUARTE, P. B. **Microrganismos indicadores de poluição fecal em recursos hídricos**. Monografia (Especialização em Microbiologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 52p, 2011.
- EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; RICE, E.W.; GREENBERG, A.B. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 1368p., 2005.
- EGLER, M.. **Utilizando a Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos na Avaliação da Degradação de Ecossistemas de Rios em Áreas Agrícolas**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação da Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, 147p., 2002.
- ESTEVES, F.A.; AMADO, A.M. Nitrogênio. 239 – 258pp. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p., 2011.
- ESTEVES, F.A.; AMADO, A.M.; FIGUEIREDO-BARROS, M.P.; FARJALLA, V.F.. Carbono Orgânico. 193 a 208pp. In: ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.
- ESTEVES, F.A.; FIGUEIREDO-BARROS, M.P.; PETRUCIO, M.M. Principais cátions e ânions. 300 a 321pp. In: ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.
- ESTEVES, F.A.; FURTADO, A.L. S.. Oxigênio Dissolvido. 167 – 191pp. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p., 2011.
- ESTEVES, F.A.; GONÇALVES-JUNIOR, J.F.. Etapas do metabolismo aquático. 119 a 136pp. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p., 2011.
- ESTEVES, F.A.; PANOSSO, R. Fósforo. 259 – 281pp. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p., 2011.
- FELISBERTO, S.A.; MURAKAMI, E.A.. **Papel do perifíton na ciclagem de nutrientes e na teia trófica**. In: SCHWARZBOLD, A.; BURLIGA, A.L.; TORGAN, L.C. (org.). Ecologia do Perifíton – 1ed – São Carlos: RiMa, 2013.
- FERREIRA FILHO, S. S.; ALVES, R.. **Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro , 11(4): 362-370, Dec. 2006.

- FIA, R.; TADEU, H.C.; MENEZES, J.P.C.; FIA, F.R.L.; OLIVEIRA, L.F.C. **Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 20(1): 267 - 275, 2015.
- FIGUEIREDO, D.R.; AZEITEIRO, U.M.; ESTEVES, S.M.; GONÇALVES, F.J.M.; PEREIRA, M.J.. **Microcystinproducing blooms** - a serious global public health issue. Ecotoxicology and Environmental Safety, 59(2): 151-63, 2004.
- FRANÇA, J. S.; CALLISTO, M.. **Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água**: experiências em educação ambiental e mobilização social. Revista Extensão, 2(1): 197 - 206, 2012.
- FRANCES, J.L.; GEOFF, A.; BARBARA, F.N. **The effects of nitrite on the short-term growth of silver perch (*Bidyanus bidyanus*)**. Aquaculture, 163: 63-72, 1998.
- FREITAS, G. B.. **Modelos de recuperação na mata ciliar do rio Jaguaribe, João Pessoa, PB**: análise comparativa. Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente –PRODEMA da Universidade Federal da Paraíba, 72f, 2011.
- FRIES, J.; GETROST, H. **Organic reagents for trace analysis**. Darmstadt: Merck, 1977. 236p.
- FULEKAR, M. H. GEETHA, M. S. J. **Bioremediation of Trichloropyr Butoxyethyl Ester (TBEE) in bioreactor using adapted Pseudomonas aeruginosa in scale up process technique**. Biol, Med., 1(3): 1-6, 2009.
- FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa - 1:100.000**. Tese de doutorado apresentado a Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo, 212f, 2007.
- GADELHA NETO. **Noções Gerais Sobre Jardins Botânicos**. 2ed. João Pessoa: Jardim Botânico Benjamim Maranhão, 2012.
- GAO, J; XIONG, Z; ZHANG, J; ZHANG, W; MBA, F. O. **Phosphorus removal from water of eutrophic lake Donghu by five submerged macrophytes**. Desalination, 242: 193-204, 2009.
- GARCIA, H. L.; SILVA, V. L.; MARQUES, L. P.; GRACIA, C. A. B; ALVES, J. P. H. SILVA, M. G.; CARVALHO, F. O.. **Nível trófico do reservatório de Jacarecica I – Sergipe – Brasil**. Scientia Plena, 8(7): 1-9, 2012.
- GARCIAS, C.M.; AFONSO, J.A.C.. Revitalização de rios urbanos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, 1(1):131-144 , 2013.
- GEISSEN, V.; MOL, H.; KLUMPP, E.; UMLAUF, G.; NADAL, M.; PLOEG, M. VAN DER; ZEE, S. E. A. T. M. VAN DE; RITSEMA, C. J. **"Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management"**. International Soil and Water Conservation Research, 3(1): 57–65, 2015.
- GROSSELI, G. M. **Contaminantes emergentes em estações de tratamento de esgoto aeróbia e anaeróbia**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de São Carlos, 119p., 2016.
- HALL-STOODLEY, L.; COSTERTON, J.W.; STOODLEY, P.. **Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases**. Nature Reviews. Microbiology. 2(2): 95-108, 2004.

HARRISON, J.J.; TURNER, R.J.; MARQUES, L.L.R.; CERI, H.. **Biofilms**: A new understanding of these microbial communities is driving a revolution that may transform the science of microbiology. *American Scientist*, 93:508-515, 2005.

HAWKES, H.A.. **Origin and development of the Biological Monitoring Working Party score system**. Technical note. *Water Research*, 32: 964-968, 1997.

HE, S.; XU, S.; ZHANG, H.; WEN, S.; DAI, Y; LIN, S. Bioremediation efficiency in the removal of dissolved inorganic nutrients by the red seaweed, *Porphyra yezoensis*, cultivated in the open sea. **Water Res.**, 42: 1281-1289, 2008.

HENRY, R.. **Ecologia de macroinvertebrados, Peixes e vegetação Ripária de um Córrego de Primeira Ordem em região de Cerrado do Estado de São Paulo (São Carlos-SP)**. Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos. São Carlos: RiMa, 2003.

HOLZ, I.H.. **Águas urbanas: da degradação à renaturalização**. Anais do VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - Vitória-ES, 2011.

HUTCHINSON, G.E. **A Treatise on Limnology**: Geography Physics and Chemistry. v.1, New York: John Wiley and Sons. 1.015p. 1957.

JAMES, R.; ALLISON, G.; STAGNITTI, F.; JONH HILL, R.; SALZMAN, S.. **the Use of Artificial Biofilms To Strip Nutrients From an Industrial Smelter ' S Waste Water Under**. *Journal of Environmental Hydrology*, 9(July): 1–7, 2001.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Journal of Fishers and Aquatic**, 106:110-127, 1989.

JUNQUEIRA, M. V.; CAMPOS, S. C. M. **Adaptation of the “BMWP” method for water quality evaluation to rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brasil.)**. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 10(2): 125-135, 1998.

LIBORIUSSEN, L. **Production, regulation and ecophysiology of periphyton in shallowfreshwater lakes**. PhD thesis. National Environmental Research Institute. 2003.

LIMA, J.A.G.. **Relação sociedade/natureza e degradação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Coaçu – região metropolitana de Fortaleza/CE**: subsídios ao Planejamento Ambiental. Dissertação apresentada à coordenação do Mestrado Acadêmico em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, 229f, 2010.

LIN, G. H.; SAUER, N. E.; CUTRIGHT, T. J. Environmental Regulations: A Brief Overview of their Applications to Bioremediation. **Internrnational Biodeteriorotian & Biodegradation**, I-8, 1996.

LUCENA, E. R. **Jardim Botânico Benjamim Maranhão**. João Pessoa: SUDEMA, 2002.

MACEDO, C. F. SIPAÚBA-TAVARES. L. H. **Eutrofização e Qualidade da Água na Piscicultura**: consequências e recomendações. *Revista Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, 36(2): 149-163, 2010.

MAGRIS, R. A.; PASSAMANI, F.; BINDA, F.P.; FERNANDES, L.L.. **Utilização de Testes de Toxicidade com Embriões da Ostra *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) para Avaliação da Eficiência de uma Estação de Tratamento de Esgotos de Vitória (ES)**. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, 1(1): 49-52, 2006.

MAGURRAN, A. E. **Medindo a Diversidade Biológica**. Curitiba: editora UFPR, 2011.

- MALTCHIK, L.; TEIXEIRA, R. R.; STERNERT, C.. **Post-drainage changes in the structure of the benthic macroinvertebrate community in a floodplain palustrine wetland in the South of Brazil.** *Acta Limnologica Brasiliensis* 18(2):181-188, 2006.
- MARINHO, E. G. A. **Bases geológicas e geomorfológicas das organizações espaciais no município de João Pessoa (PB).** 318f. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.
- MARINHO, R. S. A. **Biorremediação para o Melhoramento da Qualidade da Água em Rios Urbanos em João Pessoa – PB: efeitos na ictiofauna.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.
- MARTINS, P.M.L. MOSCHINI, C.V. **Macrófitas aquáticas e perifiton.** Aspectos ecológicos e metodológicos. Editora RIMA, pp 63. 2003.
- MEDEIROS, M. C. S.; SILVA-JÚNIOR, J. B.. **Estudo De Caso Da Expansão Do Shopping Manaíra E Comunidade São José Sobre O Rio Jaguaribe Em João Pessoa-PB.** *Polemica - Revista Eletrônica da UERJ*, 16(2): 71–89, 2016.
- MEIRA, M. S. R. **Avaliação hidromorfológica e paisagística do baixo rio Jaguaribe na zona costeira do estado da Paraíba.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, 114f., 2014.
- MÉLO, B.P.M.. **Proposta de observação de aves como atividade estratégica à conservação ambiental no Jardim Botânico Benjamim Maranhão em João Pessoa-PB.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa Regional de Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA da Universidade Federal da Paraíba, 76f, 2015.
- MELO, S. T.; HECKENDORFF, W. D.; ALVES, E. L.; GUIMARÃES, M. M. M. O Meio Ambiente Natural: componentes abióticos e bióticos. In **Projeto de pesquisa: Vale do Rio Jaguaribe.** João Pessoa: UNIPÊ Editora, 31-94p., 2001.
- MERLEAU-PONTY, M. **Fenomenologia da Percepção.** 3ª ed., São Paulo: Martins Fontes, 2006.
- METCALFE, J.L.. **Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe.** *Environmental Pollution*, 60(1), 101–139, 1989.
- MILESI, S. V.; BIASI, C.; RESTELLO, R. M; HEPP, L. U. **Efeito de metais cobre (Cu) e Zinco (Zn) sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em riachos do sul do Brasil.** *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30, n. 3, p. 283-289, 2008.
- MILSTEIN, A.; PERETZ, Y.; HARPAZ, S. **Comparison of Periphyton Grown on Different Substrates as Food for Organic Tilapia Culture.** *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*, 60(4): 243–252, 2010.
- MONTUELLE, B.; DORIGO, U.; BÉRARD, A.; VOLAT, B.; BOUCHEZ, A.; TLILI, A.; GOUT, V.; PESCE, S.. **O perifiton como bioindicador multimétrico para avaliação do impacto do uso da terra nos rios: uma visão geral da bacia hidrográfica experimental de Ardières-Morcille (França).** *Mudança global e ecossistemas fluviais - implicações para serviços de estrutura, função e ecossistema*, 123-141, 2010.
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro.** 1ª ed. Rio de Janeiro, Techinal Books, 2010.

- MUCELINI, C.A.; BELINI, M. **Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano**. Sociedade e Natureza, Uberlândia, 20 (1): 111-124, jun. 2008.
- NEVES, F. M. C.; CASTRO, F. B. G.; GODEFROID, R. S.; SANTOS, V. L. P. **Avaliação da qualidade da água do rio Bacacheri, Curitiba/PR**. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, Ed. Especial, 7(3): 659-674, 2014.
- NIKOLAEV, Y.A.; PLAKUNOV, V.K.. **Biofilm -“city of microbes” or an analogue of multicellular organisms?** Mikrobiologiya; 76 (2): 149-163, 2007.
- OLIVEIRA, F. B. **Degradação do Meio Físico e Implicações Ambientais na Bacia do Jaguaribe**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco – Recife – PE. 2001. 93p.
- OLIVEIRA, I. L. R. **Produção familiar orgânica do camarão da Malásia (*Macrobrachium rosenbergii*)**. Dissertação (Mestrado). Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA. Universidade Federal da Paraíba. 89p.. 2016.
- OLIVEIRA, M. M. M.; BRUGNETRA, D. F.; PICCOLI, R. H.. **Biofilmes microbianos na indústria de alimentos: uma revisão**. Revista Instituto Adolfo Lutz, 69(3): 277-284, 2010.
- OLIVEIRA, S.C.C; NISHIDA, A.K.. **A interpretação ambiental como instrumento de diversificação das atividades recreativas e educativas das trilhas do Jardim Botânico Benjamim Maranhão (João Pessoa, Paraíba, Brasil)**. Turismo - Visão e Ação, 13(2): 166-185, 2011.
- PANDEY, B.; FULEKAR, M. H. **Bioremediation technology: A new horizon for environmental clean-up**. Biol. Med., 4(1): 51-59, 2012.
- PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba. AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas, disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>>, acessado em dezembro de 2018.
- PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba. AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas, disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>>, acessado em dezembro de 2019.
- PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba. **Lei n. ° 6.308**, de 02 de julho de 1996.
- PERCIVAL, S.L.; MALIC, S.; CRUZ, H.; WILLIAMS, D.W.. **Introduction to biofilms**. Biofilms and Veterinary Medicine. 6: 41-69, 2011.
- PEREIRA, J.; FERT-NETO, J.; CIPRANDI, O.; DIAS, C.E.A.. **Conhecimento local, uso e manejo de solo: um estudo de etnopedologia no planalto sul catarinense**. Revista Brasileira de Agroecologia, 5(2): 140-148, 2006.
- PÉREZ, G. R.; RESTREPO, J.J.R.. **Fundamentos de limnología neotropical**. Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente, 2 ed, 592p, 2008.
- PÉREZ, J. M. **Biofilme e macrófitas como ferramenta de recuperação em ecossistemas aquáticos e tratamento de esgotos**. Universidade Federal da Paraíba, UFPB. (Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), 2015.
- PIMENTA, S.M.; BOAVENTURA, G.R.; PEÑA, A.P.; RIBEIRO, T.G.. **Estudo da qualidade da água por meio de bioindicadores bentônicos em córregos da área rural e urbana**. Revista Ambiente e Água 11(1): 198 - 210, 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA (PMJP). **Decreto N.º 6.499, de 20 de março de 2009** – Consolida a lei complementar N.º 054 – Plano Diretor 2009.

POOLE, G.C.. **Fluvial landscape ecology**: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology*, 47: 641-660, 2002.

QADIR, M.; WICHELS, D.; RASCHID-SALLY, L.; MCCORNICK, P.G.; DRECHSEL, P.. **The challenges of wastewater irrigation in developing countries**. *Agricultural Water Management*, 97(4): 561-568, 2010.

R Core Team. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, versão 3.5.1, 2018. URL <<https://www.R-project.org/>>.

REBOUÇAS, V.T.; CALDINI, N.N.; CAVALCANTE, D.H.; SILVA, F.J.R.; SÁ, M.V.C.. **Interaction between feeding rate and area for periphyton in culture of Nile tilapia juveniles**. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 34(2), 161-167, 2012.

REIS, A. L. Q.. **Índice De Sustentabilidade Em Uma Bacia Ambiental**: Uma Abordagem Para A Gestão E Planejamento Da Conservação E Preservação Dos Rios Urbanos De João Pessoa (PB). Tese de Doutorado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba, 260p, 2016.

REIS, J.V.; SILVA, J.F.; SANTOS, A.H.V.; SILVA, E.R.A.C.. **Pagamento por serviços ambientais**: uma análise para o Jardim Botânico Benjamim Maranhão, João Pessoa (PB). *Revista Estudo e Debate, Lajeado*, 25(3): 134-16, 2018.

RICKLEFS, R.E. **Economia da Natureza**. 7ed, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

ROCHA, G. M.. A cidade de Altamira e o complexo hidrelétrico de Belo Monte na Amazônia. In: SILVA, Luiz de Jesus Dias da.; PONTE, Juliano Pamplona Ximenes (Org.). **Urbanização e ambiente**: Experiências de Pesquisas na Amazônia Oriental. Belém: Pakatatu, v. 1, p. 123-140, 2012.

RODRIGUES, E.. **Ecologia da Restauração**. Editora Planta: Londrina, 300p, 2013.

ROESELERS, G.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; MUYZER, G.. **Phototrophic biofilms and their potential applications**. *Journal of Applied Phycology*, 20: 227–235, 2008.

ROSSI, W.; BRANCO, L.C.; LACERDA, J.A.; GOMES, A.C.; WAGNER, E.M.S. Fontes de Poluição e o Controle da Degradação Ambiental dos Rios Urbanos em Salvador. **RIGS - Revista interdisciplinar de gestão social** (Online), 1(1): 61 – 74, 2015.

ROSSONI, F.P.; ROSSONI, H.A.V.; LIMA, S.E.P.B. **Políticas públicas e conflito ambiental na bacia hidrográfica do rio São Francisco**. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, 3(1): 74-80, Julho, 2013.

ROWSELL, E.; BURGESS, J.. River Landscapes: changing the concrete overcoat? In: **Landscape Research**. (Orgs.) Penning-Roussel, E. et al – 2(22), England, 1997.

SALLA, M.R.; PEREIRA, C.E.; ALAMY-FILHO, J.E.; PAULA, L. M.; PINHEIRO, A.M.. **Estudo da autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados**. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 18(2):105-114, 2013.

SANTOS, C.L.. **Análise da suscetibilidade a ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa/PB**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação

em Geografia do Centro Filosofia e Ciências Humanas da Universidade federal de Pernambuco, 107F., 2016.

SANTOS, L. F, OLIVEIRA A. G, CRISPIM. M. C. **Influência da Urbanização na Qualidade das Águas na Região do Baixo Rio Paraíba – PB.** In: 9º Encontro Internacional das Águas. 2017. Recife - PE. **Pesquisa acadêmica:** Monitoramento Ambiental. Recife, p. 228-236, 2017.

SANTOS, C.L.; SILVA, O.S.; VITAL, S.R.O.; WANDERLEY, L.S.A.. **Análise da suscetibilidade à ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa/PB.** Revista Brasileira de Geografia Física, 11(5): 1876-1888, 2018.

SANZ-LÁZARO, C; NAVARRETE M; MARÍN, A. **Biofilm responses to marine fish farm wastes.** Environmental Pollution, 159:825-832. 2011.

SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T.; SOUZA, A.D.G.; SILVEIRA, A.. **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme (SP).** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 13(3): 329 - 338, 2008.

SCHWARZBOLD, A.; BURLIGA, A. L.; TORGAN, L. C.. **Ecologia do Perifíton.** São Carlos: RiMa editora, 413p, 2013.

SHEKHAR, C. **Nature cure:** Bioremediation as a sustainable solution for polluted sites. Chemistry and Biology, 19(3): 307-308, 2012.

SHUBO, T.; **Sustentabilidade do Abastecimento e da Qualidade da Água Potável Urbana.** Dissertação. Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro. 126 p. 2003.

SILVA, F. K.; EYNG, J. **O tratamento de águas residuais de indústria de laticínios:** um estudo comparativo entre os métodos de tratamento com biofiltro e com o sistema convencional de lagoas. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, 1(2): 4–22, 2013.

SILVEIRA, M. P. **Estudo das comunidades de macroinvertebrados aquáticos e sua utilização na avaliação da qualidade da água na bacia do rio Macaé, Estado do Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia UFRJ-Rio de Janeiro, 2001.

SIMSEK, Ö. F., KOYDEMIR, S., SCHÜTZ, A.. **Um estudo multigrupo multitítulo-método multigrupo em dois países apóia a validade de um modelo de personalidade de dois fatores e ordem superior.** Revista de Pesquisa em Personalidade. 46, 442-449, 2012.

SIQUEIRA, N. S.; RODRIGUES, L. **Biomassa perifítica em tanques-rede de criação de tilápia do nilo – *Oreochromis niloticus* (Linneau, 1758).** Boletim do Instituto de Pesca (Online), 35:181-190, 2009.

SOUSA, C. E. **Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2015.

SOUZA, E.C.S.; MELLO, S.C.R.P.; SEIXAS-FILHO, J.T. **A eutrofização das águas causa malefícios à saúde humana e animal.** Revista Semioses, 8(1): 44 - 51, 2014.

SOUSA, F.J.; SOUZA, A.H.F.F.. **Percepção ambiental e usos de uma lagoa temporária em uma cidade no semiárido brasileiro.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, 17(2): 37 - 47, 2017.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. **A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil.** REDE - Revista Eletrônica do Prodema, 8(1): 26-45, 2014.

SOUZA, A.H.F.F.; ABÍLIO, F.J.P.; RUFFO, T.L.M.. Percepção ambiental de alunos de uma escola pública no entorno do açude Jatobá (Patos), sertão paraibano, 549 a 569 in: ABÍLIO, F. J. P.; FLORENTINO, H. DA S.; RUFFO, T. L. M. **Biodiversidade aquática da Caatinga Paraibana: Limnologia, Conservação e Educação Ambiental.** João Pessoa-PB: EDUFPB, 615 p, 2018.

SOUZA, N.R.L.; SILVA, V.V.; ANDRADE, E.H.A.; LIMA, V.R.P. **Análise dos efeitos de borda na Mata do Buraquinho, João Pessoa, Paraíba.** Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, 21(2): 205-217, Set. 2019.

TÂNGARI, V.. **Águas Urbanas:** uma contribuição para a regeneração ambiental como campo disciplinar integrado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2007.

TAVARES, A.R.. **Monitoramento da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul e diagnóstico de conservação.** Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, São José dos Campos, São Paulo. 176p, 2005.

TREVISAN, A. B.. **Estudos e modelagem da qualidade da água do Rio Papaquara.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, 114p, 2011.

TRENTIN, D. S.; GIORDANI, R. B.; MACEDO, A. J.. **Biofilmes bacterianos patogênicos: aspectos gerais, importância clínica e estratégias de combate.** Revista Liberato, 217 Novo Hamburgo, 14(22): 113-238, jul./dez. 2013.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas/**– Ministério das Cidades – Global Water Partnership - Wolrd Bank – Unesco 2005.

TUCCI, C. E. M. Processos hidrológicos naturais e antrópicos. In: TUCCI, CARLOS E. M.; MENDES, CARLOS ANDRÉ. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica** . 2.ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente / SQA, cap. 1, p. 15-99, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas.** Estudos Avançados, 22(63): 97-112, 2008.

TUNDISI, J. G.. **Água no século XXI:** Enfrentando a Escassez. São Carlos-SP, editora RiMa, 2ed. p 56-60, 2003.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro:** Problemas e soluções. Estudos Avancados, 22(63): 7–16, 2008.

VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E.. **The river continuum concept.** Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 37:130-137, 1980.

VERKAIK, I.; FORTUÑO, P.; PRAT, N.. **RiuNet 'El Manual' para consultar los contenidos de la app y poder hacer una evaluación sin el uso del móvil.** FEHMLab (Freshwater Ecology, Hydrology, and Management) Research Group. Universitat de Barcelona. 79 pp. 2019.

VIEIRA, D. M. **Aquicultura Familiar:** Contribuições para a Sustentabilidade. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.

- VITAL, S. R. O.; TRAVASSOS, L. E. P. **Impactos decorrentes do uso do solo em dolinas da Bacia Sedimentar da Paraíba, zona oeste do município de João Pessoa (PB), Brasil.** Caderno de Geografia, 25(44): 118–133, 2015.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2º ed., UFMG, Belo Horizonte, 246p.1996.
- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, UFMG, vol. 7, 588p, 2007.
- WANG, G.; ZHANG, J.; YANG, Q. **Attribution of Runoff Change for the Xinhui River Catchment on the Loess Plateau of China in a Changing Environment.** Water, 8(267): 1-14, 2016.
- WARD, J. V.; STANFORD, J. A.. **Research needs in regulated river ecology.** River Research and Applications, 8:205-209, 1993.
- WEBER, B. D.; SANTOS, A. A.. **Utilização da biorremediação como ferramenta para o controle da degradação ambiental causada pelo petróleo e seus derivados.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal , 10(1): 114-133, 2013.
- WETZEL, R. G. **Periphyton of freshwater ecosystems development.** The Hague. Dr. W. Junk Publ. Developments Hydrobiology, 17, 1983.
- WETZEL, R.G. **Land-water interfaces:** metabolic and limnological regulators. Verh Internat Verein Limnol, 24: 6-24, 1990.
- WU, Y.; LIU, J.; YANG, L.; CHEN, H.; ZHANG, S; ZHAO, H.; ZHANG, N. **Allelopathic control of cyanobacterial blooms by periphyton biofilms.** Environ Microbiol. 13(3):604-615. 2010.
- WU, Y.; ZHENG YI, H.; YANG, L.; GRAHAM, B.; KERR, P.G. **The removal of nutrients from non-point source wastewater by a hybrid bioreactor.** Bioresource Technology. 102(3): 2419 -2426, 2011.
- WU, J; XIA, L; YU, Z; SHABBIR, S; KERR, P.G. **In situ bioremediation of surface waters by periphytons.** Bioresource Technology. 2013.
- WU, Y.; XIA, L.; YU, Z.; SHABBIR, S.; KERRET, P.G. **In situ bioremediation of surface waters by periphytons.** Bioresource Technology, 151. 367–372. 2014.
- XAVIER, C. L., NISHIJIMA, T.. **Percepção ambiental junto aos moradores do entorno do arroio tabuão no bairro esperança em Panambi/RS.** REGET, 1(1): 47-58, 2010.
- YANG, S. Z., JIN, H. J., WEI, Z., HE, R. X., JI, Y. J., LI, X. M.; YU, S. P. **Bioremediation of oil spills in cold environments: A review.** Pedosphere. 19(3): 371-381, 2009.
- ZANINI, H. L. H. T. **Caracterização limnológica e microbiológica do córrego Rico que abastece Jaboticabal (SP).** Tese (doutorado em Microbiologia Agropecuária). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 75p. 2009.

CAPÍTULO 1



**QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO DO
RIO JAGUARIBE UTILIZANDO-SE OS
MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS
COMO BIOINDICADORES**

QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO DO RIO JAGUARIBE UTILIZANDO-SE OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES

RESUMO

O atual cenário degradado dos rios urbanos, na maioria dos casos, é causado pela falta de um tratamento prévio dos efluentes antes de serem descartados em seu leito. A bioindicação utiliza-se de organismos que podem indicar a presença, ou não, de poluição no ambiente. O objetivo deste trabalho foi analisar a qualidade da água do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, com base em parâmetros biológicos e físicos e químicos da água e do sedimento. O estudo foi realizado de setembro de 2017 a outubro de 2018, em seis pontos de coleta. Para aferir o conteúdo de matéria orgânica das amostras de sedimento do Rio Jaguaribe, foi utilizado o Método de Calcinação. Para a coleta dos macroinvertebrados bentônicos, foram feitas coletas de forma quantitativa, através de uma draga do tipo Van Veen e os animais coletados expressos em densidade e abundância relativa. A partir disso, foi utilizado o índice BMWP, juntamente com os índices de diversidade, de dominância e de equitabilidade. No total, foram encontrados dez *taxa* de macroinvertebrados bentônicos (Arthropoda - Chironomidae, Ceratopogonidae, Naucoridae, Libellulidae; Anellida - Oligochaeta, Hirudinea; Mollusca - *Pomacea* sp., *Biomphalaria glabrata*, *Drepanotrema* sp., *Melanoides tuberculatus*). Os estudos mostraram a predominância, em todos os pontos, de baixas concentrações de Oxigênio dissolvido e de invertebrados mais resistentes à poluição (larvas de quironomídeos e oligoquetos), indicando que o Rio Jaguaribe foi classificado, de acordo com o BMWP modificado, como Péssimo, exceto no P3, onde a classificação foi “Ruim”, embora esse ponto apresente a maior concentração de Oxigênio Dissolvido e tenha sido registrada a maior diversidade ($H = 1,27$ de Shannon) em relação aos outros pontos, provavelmente por estar localizado a jusante do Jardim Botânico, uma Unidade de Conservação.

Palavras chave: Rio urbano, qualidade ambiental, zoobentos límnicos, Mata Atlântica.

ABSTRACT

QUALITY OF WATER AND SEDIMENT OF THE JAGUARIBE RIVER USING BENTONIC MACROINVERTEBRATES AS BIOINDICATORS

The current degraded scenario of urban rivers, in most cases, is caused by the lack of prior treatment of effluents before being discharged into the river waters. Bioindication uses organisms that can indicate the presence, or not, of pollution in the environment. The objective of this work was to analyze the water quality of the Jaguaribe River, João Pessoa-PB, Brazil, based on biological and physical and chemical parameters of the water and sediment. The study was carried out from September 2017 to October 2018, at six collection points. The Calcination Method was used to measure the organic matter content of the sediment samples from the Jaguaribe River. For the collection of benthic macroinvertebrates, quantitative collections were made using a Van Veen dredge and the animals collected expressed in density and relative abundance. From this, the BMWP index was used, together with the diversity, dominance and equitability indices. In total, ten taxa of benthic macroinvertebrates (Arthropoda - Chironomidae, Ceratopogonidae, Naucoridae, Libellulidae; Anellida - Oligochaeta, Hirudinea; Mollusca - *Pomacea* sp., *Biomphalaria glabrata*, *Drepanotrema* sp., *Melanoides tuberculatus*) were found. Studies showed a predominance, at all points, of low concentrations of dissolved oxygen and of more resistant to pollution organisms (chironomid larvae and oligochaetes), indicating that the Jaguaribe River was classified, according to the modified BMWP, as Poor, except in P3, where the classification was “Bad”, although this point has the highest concentration of Dissolved Oxygen and the highest diversity ($H = 1.27$ of Shannon) was recorded in relation to the other points, probably because it is located downstream of the Botanical Garden, a Conservation Unit.

Keywords: Urban river, environmental quality, zoobenthic species, atlantic forest.

1.1. INTRODUÇÃO

Grande parte dos efluentes domésticos e industriais são lançados diretamente nos corpos aquáticos, reduzindo cada vez mais a disponibilidade dos recursos hídricos para a maioria dos usos, principalmente o consumo humano (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011).

Embora vários estudos tenham abordado a relação entre urbanização de bacias hidrográficas e a integridade biótica em riachos, poucos abordaram diretamente a questão de como os padrões urbanos influenciam nas condições ecológicas. Esses estudos normalmente correlacionam mudanças nas condições ecológicas com medidas agregadas simples de urbanização (por exemplo, densidade populacional humana ou porcentagem de superfície impermeável) (ALBERTI et. al., 2007).

Sendo assim, a avaliação da qualidade da água dos rios, por variáveis físicas, químicas e geoquímicas, pode ser associada à utilização de bioindicadores, que é a observação e acompanhamento de espécies ou de grupos indicadores durante um intervalo de tempo, visando obter informações sobre a condição do ambiente e mudanças nas comunidades biológicas (MUGNAI et. al., 2010). Tais comunidades biológicas, utilizadas como bioindicadoras, na presença de poluentes na água, podem ter a densidade e a riqueza de espécies alteradas. Por isso, são capazes de indicar os efeitos antrópicos ou natural no ambiente, permitindo eficiência na identificação dos fatores influentes (PIMENTA et. al., 2016).

Segundo Verkaik, Fortuño e Prat (2019), as espécies para ser consideradas indicadoras possuem uma pequena tolerância a variações ambientais, sendo essenciais as relações entre os seres vivos e os fatores ambientais para a avaliação biológica. Assim, rápidas mudanças do ambiente provocadas por agentes antropogênicos causam grandes alterações populacionais nos organismos, em que cada espécie possui um padrão de variação característico: algumas são mais tolerantes, outras menos.

De acordo com Ribeiro e Uieda, (2005), o ideal, para se ter uma avaliação muito bem sucedida, é a associação das análises físicas e químicas da água com os métodos biológicos, permitindo uma caracterização mais completa, visto que variáveis físicas e químicas podem apresentar grandes variações ao longo de um dia. Os indicadores biológicos têm sido considerados eficientes para medir a qualidade da água com baixos custos.

Milesi et al. (2008) informaram que os macroinvertebrados bentônicos constituem um dos melhores bioindicadores de qualidade das águas nos ambientes lóticos, pois possuem características sésseis, ciclo de vida relativamente longo e são de fácil visualização.

Para o uso dos Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água, é necessário que sejam utilizados índices adequados. Para os ambientes lóticos poluídos, existe o índice Biological Monitoring Working Party Score System (BMWP), criado pelo Departamento do Comitê Consultivo Técnico Permanente de Meio Ambiente sobre a Qualidade da Água (STACWQ) (HAWKES, 1997). Entretanto, este índice foi modificado por Junqueira e Campos (1998) para os ambientes lóticos de Minas Gerais, Brasil, em que as valências sapróbicas foram estabelecidas para as famílias zoobentônicas encontradas na bacia hidrográfica, sendo que cada família possui um número categórico que vai de 10 a 1, dependendo da tolerância destas em ambientes degradados. O quadro 1, mostra os escores do índice BMWP modificado.

Desta forma, esta pesquisa intencionou responder as seguintes hipóteses: H1 – O Rio Jaguaribe apresenta-se poluído em toda a sua extensão, exceto ao sair do Jardim Botânico Benjamim Maranhão; H2 – os bioindicadores e o índice biótico serão representados por baixa diversidade e indicadores de qualidade de água poluída. Para isso apresenta o objetivo geral de “Analisar a qualidade de água do Rio Jaguaribe, em relação a parâmetros biológicos e físicos e químicos da água e do sedimento e os específicos: i) Analisar as densidades de organismos macroinvertebrados bentônicos no sedimento; ii) Analisar a qualidade do sedimento em relação aos teores de matéria orgânica; e iii) Avaliar a qualidade de água baseado em variáveis físicas e químicas e índice BMWP.

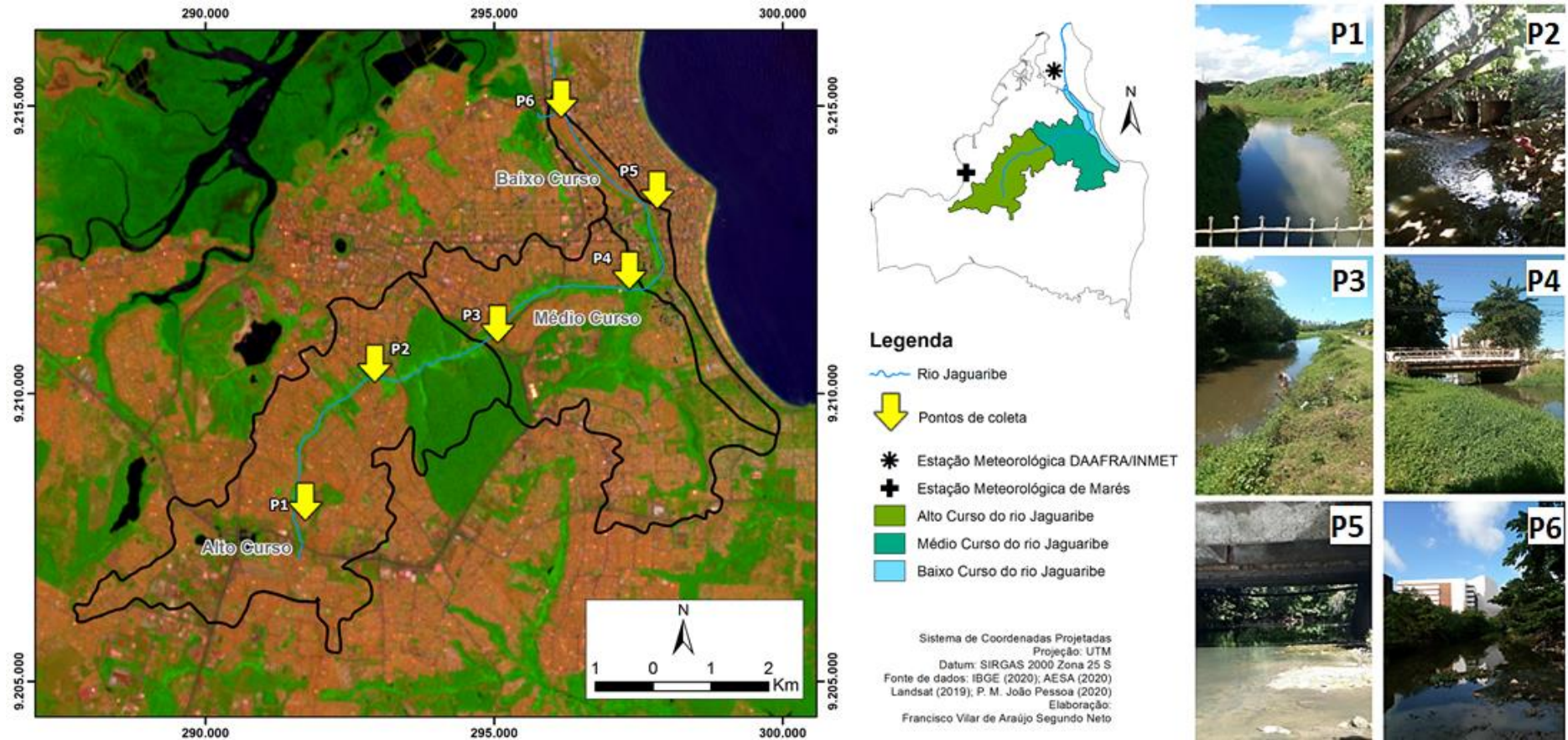
1.2. MATERIAIS E MÉTODOS

1.2.1. Coleta de Dados

Os Pontos de coleta do presente trabalho no Rio Jaguaribe, foram seis, denominados P1, P2, P3, P4, P5 e P6 (Figura 1.1), e foram devidamente caracterizados nas páginas 54 a 56.

De acordo com Alves-Filho, Henriques e Ribeiro (2012), o Rio Jaguaribe é classificado na maioria dos pontos como Classe 3, seguindo os critérios da resolução do CONAMA 357/2005.

Figura 1.1. Representação da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe, no município de João Pessoa-PB, e os respectivos pontos de coleta da água e do sedimento, além das estações meteorológicas de Marés (AESa) e DAAFRa (INMET). P1 – Jardim Guaíba (Oitizeiro); P2 – Ladeira do Varjão (Varjão), antes do Jardim Botânico Benjamin Maranhão; P3 – Comunidade São Rafael (Castelo Branco), logo a jusante do Jardim Botânico Benjamin Maranhão; P4 – Comunidade Tito Silva (Miramar); P5 e P6 – início e final do Bairro São José, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

1.2.2. Matéria orgânica do sedimento aquático

Para estimar a porcentagem de matéria orgânica do sedimento aquático do Rio Jaguaribe, este foi coletado com um amostrador tubo Core acrílico, cujo conteúdo amostrado foi colocado em sacolas plásticas e colocado em isopor com gelox para evitar alterações no teor de matéria orgânica por decomposição.

Em Laboratório, foi utilizado o Método de Calcinação (GOLDIN, 1987); as amostras de sedimento foram colocadas dentro de uma estufa para ficarem livres de umidade a 60°C, por 48 horas. Posteriormente, as três réplicas de 30g de cada amostra (réplica), foram pesadas em cadinhos de porcelana e, posteriormente levadas ao forno tipo Mufla (esta já com a temperatura de 500 °C, inicialmente), em que ficaram por 3 horas para serem calcinadas. Após esta etapa, as amostras foram novamente pesadas na balança de precisão, e a diferença entre o peso inicial e o peso final corresponde ao teor de matéria orgânica presente no sedimento.

1.2.3. Macroinvertebrados bentônicos

Para a coleta dos macroinvertebrados bentônicos, foram feitas três réplicas em cada ponto, de forma quantitativa, utilizando-se uma draga do tipo Van Veen. O sedimento amostrado foi acomodado em sacos plásticos, onde houve a fixação por formol a 10% no campo e encaminhado para o laboratório.

As amostras de sedimento obtidas pela draga foram lavadas em água corrente e o material, retido em peneiras de malhas de 1mm e 200 µm, foi colocado em potes plásticos e fixado em álcool 70%; a triagem do material foi realizada através de bandejas iluminadas e os indivíduos encontrados colocados em frascos de vidro e conservados também em álcool a 70%. Os resultados, expressos pela média aritmética das réplicas amostradas de cada ponto, serviram tanto na abundância relativa (em porcentagem) quanto no número de indivíduos por área amostral (1 dragagem = 0,04 m²). A identificação dos organismos foi feita com o auxílio do estereomicroscópio. Utilizaram-se para isso chaves de identificação especializadas, como: Merrit e Cummins (1984); Epler (2006); Mugnai et al. (2010), Milligan (1997) e Thompson (2004).

Para o uso dos Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água, utilizou-se o índice BMWP modificado por Junqueira e Campos (1998), utilizando-se as famílias de macroinvertebrados bentônicos encontradas, atribuindo-lhes um valor de acordo

com a sua tolerância à poluição do ambiente, variando de 1 a 10, sendo os de maior valor atribuído aos macroinvertebrados menos resistentes à poluição e os de menor valor aos mais resistentes (Quadro 1.1); com a somatória dos valores das famílias encontradas, a água pode ser qualificada de Péssima a Excelente (Quadro 1.2).

Quadro 1.1 Valores atribuídos às famílias de macroinvertebrados bentônicos a partir do índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) modificado por Junqueira e Campos (1998).

FAMÍLIAS	VALOR
Siphonuridae, Gripopteridae, Odontoceridae, Helicopsychidae, Hidrosaphidae, Leptophlepiidae	10
Perlidae, Philopotamidae, Psephenidae, Microsporidae, Pyralidae, Noctuidae, Calopterygidae, Aeshnidae, Hebridae, Leptohyphidae	8
Polycentropodidae, Hydrobiosidae, Leptoceridae, Staphilinidae, Coenagrionidae, Vellidae, Glossomatidae, Hydroptilidae,	7
Nepidae, Abcylidae, Unlonidae, Dixidae, Hidropsychidae, Libelulidae*	6
Elmidae, Gomphidae, Naucoridae, Gerridae, Belostomatidae, Corixidae, Mesovelidae, Notonectidae*, Gyrinidae, Hydrophilidae, Dugeslidae, Simuliidae, Tipulidae, Baetidae	5
Dysticidae, Chrysomelidae, Corydalidae, Psicolidae, Ceratopogonidae, Empididae, Gelastocoridae, Polymirtacyidae*, Ampullariidae*	4
Physidae, Shaeiridae, Planorbidae, Glossiphoniidae, Athericidae, Tabanidae, Erpobdelidae, Caenidae*, Thiaridae*	3
Chironomidae, Psychodidae, Stratiomyidae, Syrphidae, Ephidridae,	2
Oligochaeta (todos), Sciomyzidae, Culicidae	1

* Famílias de Macroinvertebrados bentônicos acrescentadas no presente trabalho.

Fonte: Adaptado de Junqueira e Campos (1998).

Quadro 1.2. Qualidade da água de acordo com o valor obtido no índice BMWP.

BMWP	CLASSIFICAÇÃO
>81	Excelente
80-61	Boa
60-41	Regular
40-26	Ruim
<25	Péssima

Fonte: Junqueira e Campos (1998).

Sendo assim, foi utilizado tanto o índice BMWP, adaptado por Junqueira e Campos (1998), a partir das famílias (*taxa*) de macroinvertebrados bentônicos encontrados com base na tolerância à poluição aquática, quanto os índices biológicos: Riqueza, Índice de Shannon-Weaver (SHANNON; WEAVER, 1964) para a diversidade biológica, de Dominância de Berger-Parke (1970) e a Equitabilidade de Pielou (PIELOU, 1966).

1.2.4. Tratamento estatístico

Para testar os efeitos dos pontos no Biomonitoramento utilizando os macroinvertebrados bentônicos do Rio Jaguaribe, a GLS foi realizada na forma de um modelo de Anova, enquanto que para testar os efeitos da estação (seca e chuvas), utilizou-se o Teste t. Para isso, todos os dados foram logaritmizados para reduzir a variância. A GLS foi realizada utilizando o pacote *nlme*, função *gls*.

A riqueza, equitabilidade, dominância e índice de diversidade de Shannon foram calculados utilizando o pacote *vegan*, utilizando a função *diversity*.

Para entender quais variáveis foram mais relevantes durante as estações de estiagem e de Chuva, realizaram-se a Análise de Componentes Principais (PCA). No entanto, para verificar quais variáveis afetaram a comunidade bentônica e/ou os índices de diversidade, dominância, Equitabilidade e riqueza no estudo de monitoramento, foi realizado a Análise de Correspondência Canônica (CCA).

Todas as variáveis foram padronizadas antes da realização das análises. Foram utilizadas as funções *princomp* e *cca* para as análises.

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1. Variáveis ambientais

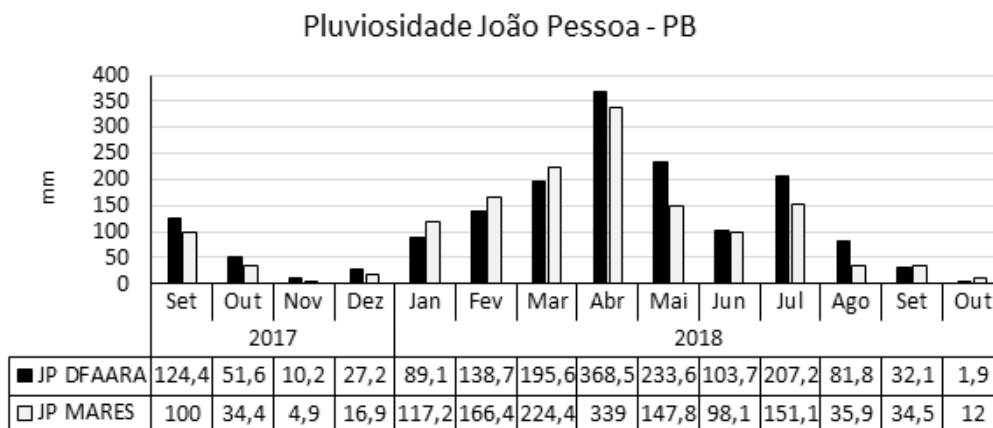
Em relação à pluviosidade no município de João Pessoa, constatou-se, nos dados da estação meteorológica de Marés, que de setembro a dezembro de 2017, houve um acumulado de 139,3 mm de chuva, enquanto que no mesmo período para a estação meteorológica de DAAFR/INMET de 186,2 mm. Entretanto, em 2018, de janeiro a outubro, este acumulado foi de 1326,4 mm e 1452,2 mm registrados nas estações de Marés e de DFAARA, respectivamente.

Os valores mais elevados registrados de precipitação pluviométrica foram no mês de abril de 2018, com valores médios de 368,5 mm na estação DFAARA e 339,0 mm na estação de Marés (Figura 1.2).

Entretanto, o menor índice pluviométrico foi registrado, na estação DFAARA, nos meses de outubro de 2018, a menor média de chuvas (1,9 mm), seguido de 10,2 mm em novembro de 2017, enquanto que na estação Marés, o menor índice foi em novembro de 2017,

com 4,9 mm e em outubro de 2018, com 12 mm registrados. Nota-se que os meses mais chuvosos foram de janeiro a julho.

Figura 1.2 - Índice pluviométrico do município de João Pessoa-PB entre os meses de dezembro de 2017 a outubro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação às médias de Oxigênio Dissolvido, as maiores concentrações desta variável foram registradas no Ponto 3, com $10,1 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ no mês de dezembro de 2017 e $7,4 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ em julho de 2018. Entretanto, os menores valores foram obtidos nos pontos P6 e P4, respectivamente, no mês de fevereiro de 2018 e julho de 2018, com $0,8 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$, como mostrado na Figura 1.3.

Houve diferenças significativas no Oxigênio Dissolvido entre os pontos de coleta ($F = 20,09$; $p < 0,001$), sendo o ponto 3 o mais diferenciado entre os demais pontos (Tabela 1.1A e B).

Nesta pesquisa, no entanto, de forma geral, o oxigênio estava abaixo do recomendado pela Resolução do CONAMA 357/2005, nos pontos P1, P2, P4, P5 e P6, para rios de classe 3, em que preconiza que o rio deveria apresentar o Oxigênio Dissolvido com concentração acima de $4 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Já o P3, de forma geral, apresentou concentrações de OD para classe 2, acima de $5 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Estes resultados também foram evidenciados por Alves-Filho; Henriques; Ribeiro (2012) comparando os dados da SUDEMA com as diretrizes do CONAMA 357/2005.

A temperatura da água do rio variou entre o valor mais elevado de $31,9^\circ\text{C}$ em fevereiro de 2018 no P4 e de $27,1$ no P1 no Mês de Julho de 2018, apresentando uma amplitude de $4,8^\circ\text{C}$, durante o período estudado (Figura 1.3).

Para o pH, os maiores valores foram obtidos no mês de julho de 2018 no P3 e P6, ambos apresentando o valor de 6,9, enquanto o menor valor foi de 5,8 no P1 em outubro de 2018 (Figura 1.3), sendo registrado uma amplitude de 1,1 no pH.

Em relação à Condutividade Elétrica, verificou-se que em dezembro de 2017, como mostra a Figura 1.3, registrou-se no P6 o valor de $631 \mu\text{S.cm}^{-1}$, seguido de $518 \mu\text{S.cm}^{-1}$ em setembro de 2017 no mesmo ponto, sendo estes os valores mais elevados. Já o menor valor foi registrado em julho de 2018, no P5 ($183 \mu\text{S.cm}^{-1}$). Assim, a amplitude entre os meses estudados foi de $448 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Ao longo do tempo e por ponto, em dezembro de 2017 no P6 foi registrado o valor médio de 440 g.L^{-1} de TDS, seguido do mês de dezembro do mesmo ano e no mesmo ponto, com 404 g.L^{-1} de TDS. Enquanto isso, o menor valor foi de 109 g.L^{-1} de TDS no P5 em julho de 2018 (Figura 1.3). Logo, a amplitude desta variável foi de 331 g.L^{-1} de TDS.

Em se tratando de Amônia, o P5 em dezembro de 2017 apresentou a maior concentração, com $3,47 \text{ mg NH}_3.\text{L}^{-1}$, enquanto que $0,8 \text{ mg NH}_3.\text{L}^{-1}$ foi obtido em julho de 2018 no P1, levando a uma amplitude ao longo do tempo de $2,67 \text{ mg NH}_3.\text{L}^{-1}$ (Figura 1.3). O fato do P1 apresentar menores concentrações é o resultado de estar perto das nascentes e receber menor contribuição por esgotos.

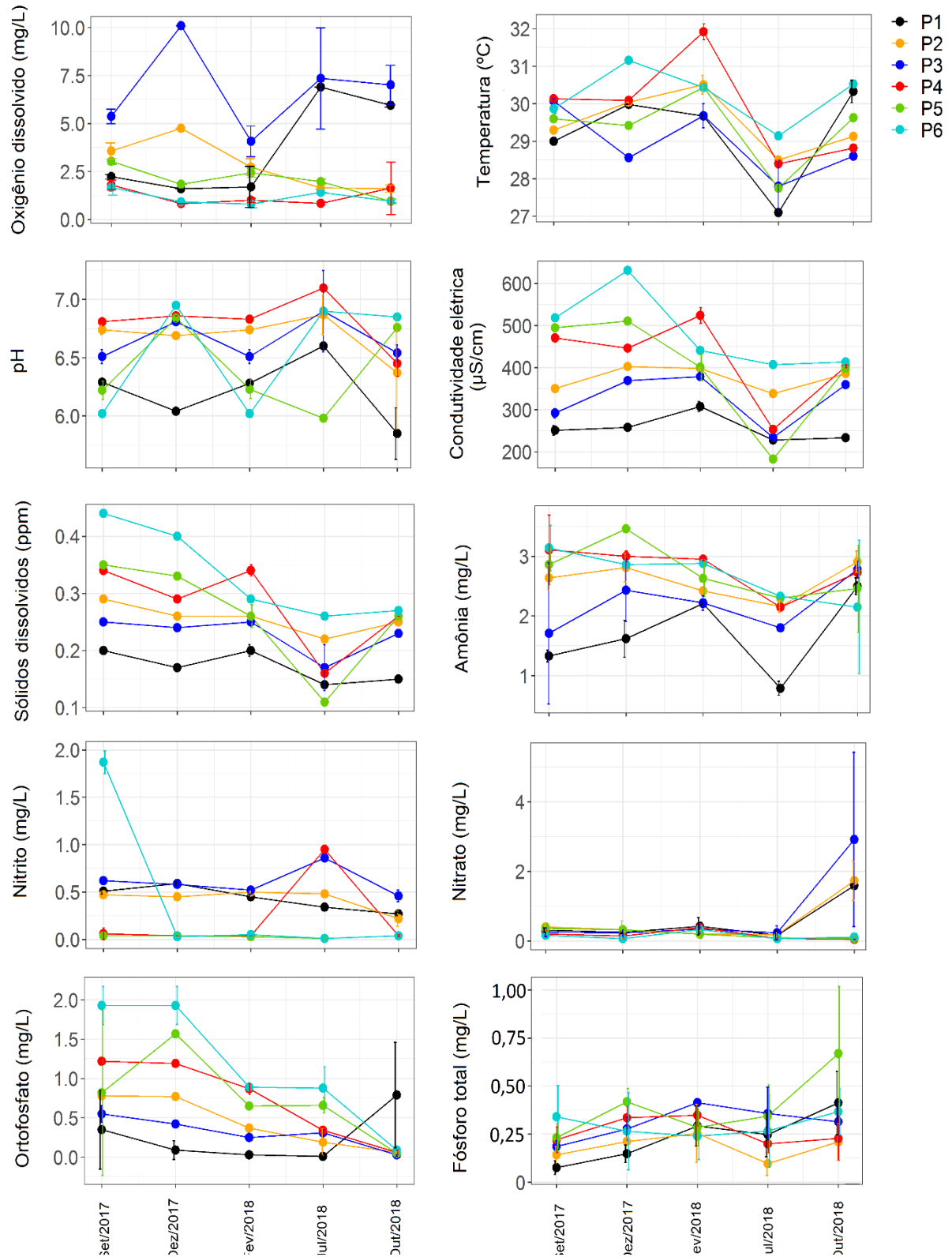
A amônia apresentou valores elevados ao longo do Rio Jaguaribe. Exceto no P3, suas concentrações vinham ficando mais elevadas à medida que se direcionava para jusante, sendo o resultado do aporte de novos efluentes de esgoto ao longo do seu percurso (vide Figura 1.3). Apesar disso, encontra-se dentro dos valores máximos permitidos para um rio de Classe 3, que tem como limite máximo para a amônia, $5,6 \text{ mg NH}_3.\text{L}^{-1}$ para águas com pH entre 7,5 e 8,0, segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Segundo a CETESB (2019), a amônia, ao ser oxidada biologicamente em águas naturais, tende a consumir oxigênio dissolvido no processo denominado de DBO de segundo estágio.

Sobre o Nitrito, como mostrado na Figura 1.3, o maior e menor valor foram, respectivamente, $1,87 \text{ mg NO}_2.\text{L}^{-1}$ em dezembro de 2017 no P6 e no mês de julho de 2018, nos P5 e P6, de $0,01 \text{ mg NO}_2.\text{L}^{-1}$, apresentando uma amplitude de $1,86 \text{ mg NO}_2.\text{L}^{-1}$.

As concentrações de nitrato foram mais elevadas nos três primeiros pontos de coleta no rio, principalmente o P3 de outubro de 2018, cujo valor foi de $2,92 \text{ mg NO}_3.\text{L}^{-1}$, enquanto o menor foi de $0,06 \text{ mg NO}_3.\text{L}^{-1}$ em julho de 2018 no P6, sendo de $2,86 \text{ mg NO}_3.\text{L}^{-1}$ a amplitude, ao longo do rio. As médias gerais e os desvios-padrões das variáveis ambientais se encontram nos Apêndices 2 e 3.

Figura 1.3 – Médias das variáveis Limnológicas do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, entre os meses de setembro de 2017 a outubro de 2018.



Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 1.1. Anova e Teste t para as variáveis ambientais do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, pelo Método GLS: (A) Anova para a diferença entre os pontos de coleta e o Teste t para a diferença entre as estações seca e chuvosa, onde, em vermelho, diferenças que foram significativas, onde: F = valor do Teste; d.f. = grau de liberdade; p-value = probabilidade. (B) Médias e desvios-padrões, por ponto, com o teste de Tukey representado em letras sobrescritas, que, se iguais em pontos diferentes, nenhuma diferença significativa encontrada.

A

Variáveis Ambientais	Diferença entre pontos Anova pelo método GLS			Diferença entre estações Teste t pelo método GLS		
	F	d.f.	p-value	F	d.f.	p-value
OD	25.09	5	<0.001	0.05	1	0.813
Temperatura	11.05	5	<0.001	20.4	1	<0.001
CE	26.23	5	<0.001	6.55	1	0.016
TDS	18.93	5	<0.001	7.93	1	0.008
pH	5.57	5	<0.001	1.52	1	0.227
NH ₃	5.48	5	<0.001	6.33	1	0.017
NO ₃	1.88	5	0.105	2.07	1	0.160
NO ₂	8.12	5	<0.001	0.07	1	0.791
PO ₄	2.04	5	0.080	0.20	1	0.656
PT	4.20	5	<0.001	0.14	1	0.707
MO sedimento	12.62	5	<0.001	0.155	1	0.697

B

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
OD	3.68 (2.39) ^a	2.86 (1.26) ^a	6.78 (2.39) ^b	1.22 (0.68) ^c	2.04 (0.73) ^a	1.15 (0.38) ^c
Temp	29.22 (1.19) ^{ab}	29.49 (0.74) ^{ab}	28.94 (0.90) ^b	29.87 (1.28) ^{ab}	29.37 (0.91) ^{ab}	30.23 (0.71) ^a
CE	255.67 (29.9) ^a	375.13 (27.1) ^b	326.67 (57.6) ^{ab}	419.40 (95.5) ^{bc}	397.47 (121.6) ^{bc}	482.07 (87.3) ^c
TSD	0.17 (0.03) ^a	0.26 (0.02) ^b	0.23 (0.04) ^{ab}	0.28 (0.07) ^{bc}	0.26 (0.09) ^{bc}	0.33 (0.08) ^c
pH	6.21 (0.28) ^a	6.68 (0.26) ^b	6.66 (0.22) ^{a b}	6.81 (0.22) ^{bc}	6.40 (0.35) ^b	6.55 (0.45) ^c
NH ₃	1.69 (0.12) ^a	2.59 (0.11) ^b	2.19 (0.14) ^{ab}	2.79 (0.37) ^b	2.68 (0.01) ^b	2.67 (0.76) ^b
NO ₃	0.54 (0.56) ^a	0.57 (0.66) ^a	0.79 (1.46) ^a	0.17 (0.13) ^a	0.19 (0.14) ^a	0.15 (0.12) ^a
NO ₂	0.43 (0.65) ^{ac}	0.42 (0.31) ^{ac}	0.61 (0.64) ^a	0.22 (0.42) ^{ab}	0.03 (0.52) ^b	0.40 (0.59) ^{bc}
PT	235.67 (149.1) ^a	183.17 (94.11) ^a	310.33 (105.6) ^{ab}	266.83 (88.9) ^{ab}	389.83 (221.0) ^b	295.83 (145.5) ^{ab}
PO ₄	0.25 (0.44) ^a	0.43 (0.31) ^a	0.31 (0.19) ^a	0.74 (0.48) ^a	0.68 (0.57) ^a	1.14 (0.75) ^a
MO	36.87 (4.21) ^a	34.33 (4.05) ^{ac}	28.60 (10.49) ^{ac}	44.17 (2.17) ^{bc}	NA	48.33 (4.06) ^b

Fonte: Dados da Pesquisa.

A amônia sofre o processo de nitrificação e, para isso, precisa se unir a moléculas de oxigênio para virar Nitrito, e, posteriormente, Nitrato (ESTEVES; AMADO, 2011). Apesar de ao longo de todo o rio se verificar a entrada de efluentes domésticos, parece haver mais processos de nitrificação gradativamente nos três primeiros pontos de coleta do Rio Jaguaribe, justamente onde há as maiores médias gerais de Oxigênio Dissolvido, caindo à medida que cai o teor de O₂ dissolvido. No entanto, o Nitrato é o produto final do processo de nitrificação, não sendo considerado um composto tóxico como o nitrito e a amônia.

O fato de ter mais nitrato na água significa que tem menor absorção pelas microalgas ou plantas aquáticas, que são mais comuns em águas mais poluídas. Por esse mesmo motivo, verifica-se menores concentrações de nitrato nos pontos a jusante, os P4, P5 e P6, em consequência da grande quantidade de plantas aquáticas presentes nesses pontos, que absorvem esse composto, associada ao déficit de oxigênio dissolvido.

As concentrações de ortofosfato foram mais elevadas nos dois meses amostrados de 2017, com 1,93 mg $\text{PO}_4\text{.L}^{-1}$ no P6, seguido do P5 de dezembro de 2017 com 1,57 mg $\text{PO}_4\text{.L}^{-1}$, enquanto que o menor teor de fosfato foi obtido no P1 em julho de 2018, seguido do P1 em fevereiro de 2018 (0,01 mg $\text{PO}_4\text{.L}^{-1}$ e 0,03 mg $\text{PO}_4\text{.L}^{-1}$, respectivamente) e no P3 de outubro de 2018, com 0,03 mg $\text{PO}_4\text{.L}^{-1}$ (Figura 1.5).

O Fósforo Total no P6 apresentou a maior média, com 0,66 mg P.L^{-1} , enquanto o P1 atingiu o mínimo médio de 0,076 mg P.L^{-1} , uma amplitude de 0,59 mg P.L^{-1} , um valor considerado alto. Esse dado demonstra o poder cumulativo do fósforo ao longo do rio, em consequência da contínua adição ao longo do seu percurso, diferente do que se verifica no Rio Cabelo, cujas principais fontes de contaminação são as cabeceiras do rio e verifica-se autodepuração com a diminuição dos compostos nutrientes das nascentes para a foz (OLIVEIRA, 2020).

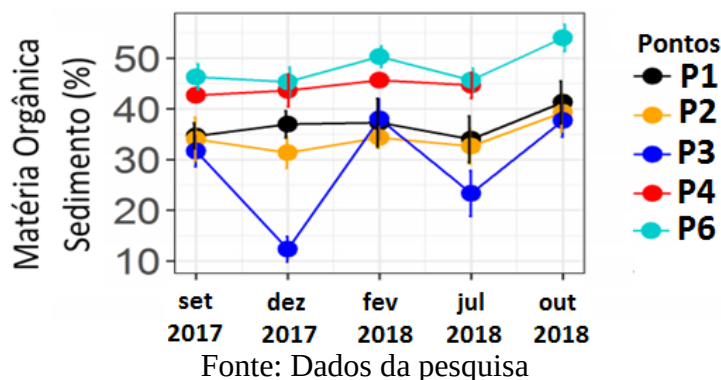
Comparando com os valores máximos permitidos pelas diretrizes da Resolução CONAMA 357/2005, estes valores estão muito acima do permitido. Nesta norma, os valores máximos permitidos para fósforo total são de 0,15 mg P.L^{-1} .

Considerando que o rio recebe grande quantidade de águas cinzas, ricas em sabão e que este é composto por fósforo, isso explica a grande quantidade de fosfato presente na água. Este é um composto indutor da eutrofização em ecossistemas aquáticos, responsável pelo aumento de plantas aquáticas, principalmente flutuantes, pelo que é desejável ser encontrado no ambiente em pequenas concentrações (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011). Além disso, é possível que o rio também receba outros tipos de esgotos, que sua decomposição libera também fósforo.

Em relação à Matéria Orgânica do sedimento aquático (MO), o P6 registrou os maiores teores tanto no mês de outubro de 2018, com 54%, quanto no mês de fevereiro de 2018, com 50,3%. Já os menores teores de matéria orgânica foram registrados no P3, nos meses de dezembro de 2017, com 12% e em junho de 2018, com 23%. (Figura 1.4). Isso demonstra que o P3 recebe menos carga orgânica, enquanto que o P6 recebe a maior quantidade. Isso pode ser o resultado de apresentar um bairro ribeirinho maior, ou porque também para além disso recebe

maior quantidade de esgoto direcionado de outros bairros, como foi observado em campo, canos de esgoto de grandes dimensões sendo lançados no rio com pequeno espaço entre eles, como por exemplo cerca de 5 m.

Figura 1.4 – Média do Teor de matéria orgânica do sedimento do Rio Jaguaribe, município de João Pessoa-PB, entre os meses de setembro de 2017 a dezembro de 2018.

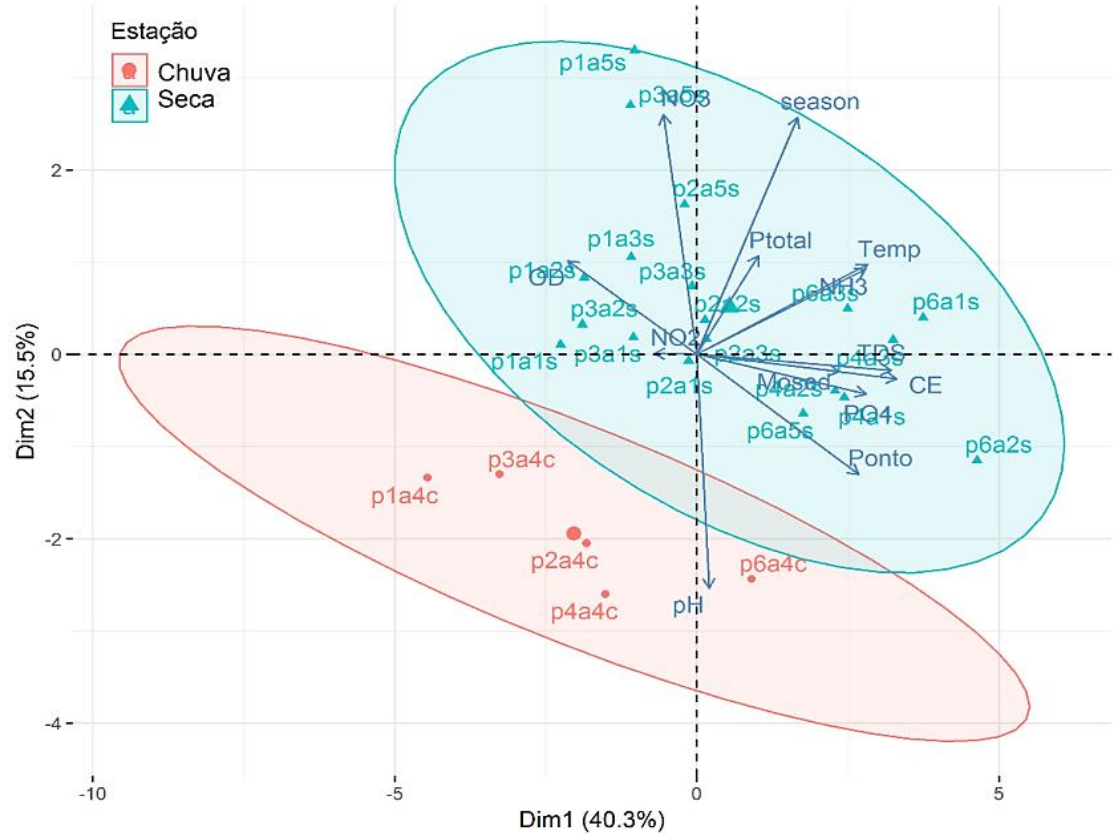


Não foi possível verificar a Matéria Orgânica do sedimento aquático no ponto 5 devido a haver muito pedaços de metralha, entulho, jogados neste ponto do rio, o que impediu o uso correto do tubo acrílico core. Também, pelo mesmo motivo do entulho, não foi possível coletar os Macroinvertebrados bentônicos neste P5, pois a draga de Van Veen também não funciona pela impossibilidade de fechar, por entalar resíduos.

Ao ser realizado o teste multiparâmetro de Análises de Componentes Principais (PCA), verificou-se que as variáveis ambientais ficaram bem distintas nas estações de seca (em azul) e de chuvas (vermelho), como mostra a Figura 1.5, seguido da Tabela 1.2, que mostram os autovalores e explicabilidade e importância de cada componente.

Tanto os pontos de coleta quanto as estações do ano, seca e chuvas, foram importantes na separação das variáveis, bem diferenciados na PCA. Como pode ser visto na Tabela 1.2A, os três primeiros componentes da PCA (também chamados de dimensões) explicam 67.2% da variância dos parâmetros ambientais, sendo que os componentes mais importantes foram, quando se compara a maior explicabilidade (dimensão 1) com a Tabela 1.2B, na Dimensão 1, a Condutividade Elétrica (CE), o Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), a Amônia (NO_3), temperatura e Ortofosfato (PO_4).

Figura 1.5. Resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) para o Biomonitoramento no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, entre os meses de setembro de 2017 a outubro de 2018, por agrupamento da Estação (Chuva e Seca). As letras a = mês amostrado; p = pontos; c = chuva; s = seca.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 1.2. Autovalores e explicabilidade das dimensões (A) e Importância dos componentes (B) da PCA.

A				B				
	Autovalor	% de Variância	% Cumulativa		Variáveis	Dim1	Dim2	Dim3
Dim.1	5.2	40.3	40.3	OD	6.8	4.0	26.5	
Dim.2	2.0	15.5	55.8	TEMP	11.9	3.7	5.0	
Dim.3	1.5	11.5	67.2	PH	0.1	25.0	2.3	
Dim.4	1.3	9.7	76.9	CE	16.4	0.3	1.7	
Dim.5	1.1	8.2	85.1	TSD	15.5	0.1	5.1	
Dim.6	0.8	5.8	90.9	NH3	0.5	26.2	0.0	
Dim.7	0.4	3.0	93.9	NO2	0.7	0.0	20.4	
Dim.8	0.3	2.3	96.2	NO3	11.7	3.3	3.4	
Dim.9	0.2	1.3	97.5	PO4	11.7	0.7	7.0	
Dim.10	0.2	1.2	98.7	PT	1.5	4.4	8.2	
Dim.11	0.1	0.8	99.5	Mosed	8.3	0.1	17.8	
Dim.12	0.0	0.3	99.8	Ponto	10.7	6.6	2.3	
Dim.13	0.0	0.2	100.0	Season	4.1	25.6	0.3	

Fonte: Dados da Pesquisa.

Neste caso, na Dimensão 1, a influência dos Pontos foi mais importante do que a Estação do ano. Ou seja, que estas variáveis ambientais diferiram entre os pontos ao longo do estudo, independente da estação do ano. Isso explica porque à medida em que os pontos vão se distanciando das nascentes e aumentando as concentrações de poluentes pelos efluentes domésticos, a condutividade elétrica e o Total de sólidos dissolvidos, a Amônia e o Ortofosfato tendem a aumentar, (exceto no P3, onde tais valores são mais reduzidos por conta da depuração que ocorre no rio Jaguaribe ao passar pela Mata do Buraquinho).

Enquanto isso, na Dimensão 2, (componente 2), a Amônia e o pH foram as variáveis mais influentes, sendo que a Estação do ano foi mais importante do que as variâncias entre os pontos, ou seja, que estas duas variáveis foram influenciadas pela estação da seca ou de chuvas. No período chuvoso, o pH tende a aumentar no período de chuvas, enquanto que a amônia tende a diminuir.

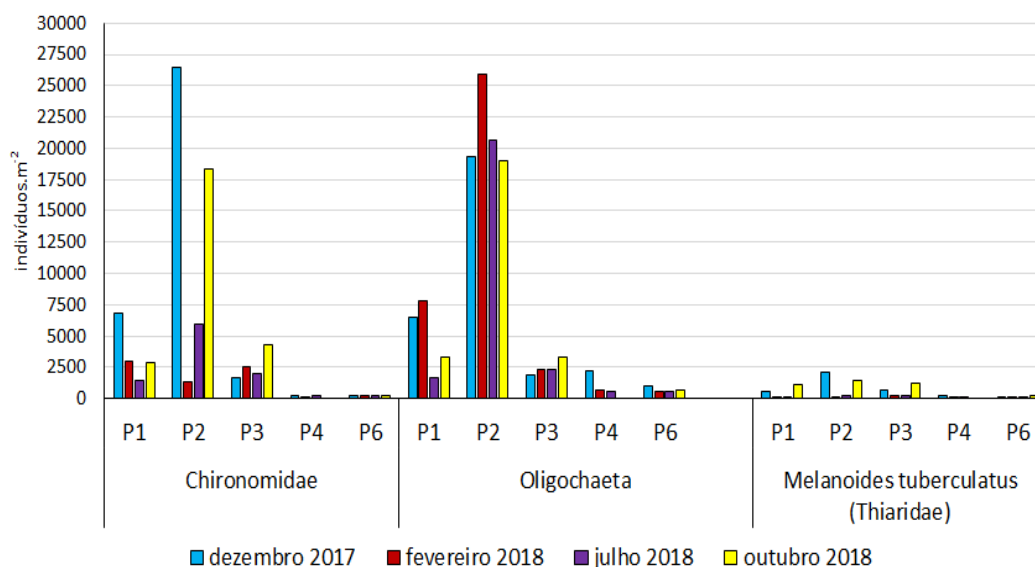
1.3.2. Macroinvertebrados bentônicos e BMWP

Em relação aos Macroinvertebrados Bentônicos do Rio Jaguaribe, durante o período estudado foram obtidos no total 10 *taxa* de macroinvertebrados bentônicos, sendo representados por Insetos (Diptera, Odonata, Heteroptera), Anelídeos (Oligochaeta e Hirudinea) e Moluscos (Ampullariidae, Planorbidae e Thiaridae), como mostrados na Tabela 1.3, que apresenta a média da densidade (ind.m⁻²) e a Tabela 1.4, a abundância relativa e o índice BMWP. Entretanto, a Figura 1.6, abaixo, mostra o número de indivíduos do zoobentos mais frequentes durante o estudo. O Apêndice 4 mostra a média geral dos Macroinvertebrados bentônicos.

O P3 foi o que registrou a maior riqueza, com 10 *taxa*, em dezembro de 2017, revelando ser o menos impactado, apesar de apresentar grupos tolerantes à poluição aquática.

De acordo com Batista e Athayde-Junior, (2014), no trecho do rio compreendido entre a “ladeira do Varjão” e a comunidade São Rafael, logo após a ponte da Av. Pedro II, a jusante desta, observou-se uma elevação nas concentrações de OD, pois, nesse trecho, o rio atravessa uma área de reserva de mata atlântica, o Jardim Botânico Benjamim Maranhão, e, logo em seguida, há um decaimento dos valores de OD ao longo de seu curso de água.

Figura 1.6 – Densidade dos Macroinvertebrados Bentônicos amostrados mais frequentes no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, por ponto, entre os meses de dezembro de 2017 a outubro de 2018.



Fonte: Dados da Tese

Cavalcanti (2013), realizando análises de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água do Rio Jaguaribe, em amostras coletadas antes, dentro e após a mata do Buraquinho, demonstrou que houve uma acentuada redução dos níveis de coliformes fecais no interior desta APP, bem como de outros parâmetros, como amônia e nitrato, indicando que este corpo aquático realmente sofre uma elevada carga de esgoto doméstico, notadamente nos pontos a montante e a jusante da mata. Além disso, ainda segundo Cavalcanti (2013), os resultados da maioria dos parâmetros demonstraram que a qualidade da água no interior da mata melhorou em relação, principalmente, no ponto a montante da reserva, mostrando que a maior cobertura de mata ciliar, ausência de lançamentos de esgotos, somadas à presença de algumas nascentes dentro da mata, ajudam na melhora da qualidade da água do rio.

Castro, Castro e Souza (2013) dizem que as áreas verdes como as matas ciliares são de extrema importância, pois estas desempenham o papel de proteger as margens dos corpos de água, evitando o assoreamento, também favorecem a regularização da vazão dos rios e córregos além de oferecer abrigo e alimentação para a fauna local.

A mata ciliar também contribui para melhorar a qualidade da água, a remoção de sedimentos em suspensão de diversas formas de nitrogênio, fósforo e potássio, por processos químicos, físicos e biológicos, protegendo os rios de fatores poluentes por filtragem (OSBORNE; KOVACIC, 1993). É esta função ecológica que o Jardim Botânico exerce sobre o Rio Jaguaribe.

Tabela 1.3. Densidade (ind.m⁻²) de macroinvertebrados bentônicos, por ponto, coletados no Rio Jaguaribe, município de João Pessoa-PB, entre dezembro de 2017 a outubro de 2018. A área da Draga de Van Veen (0,04 m²).

	dezembro 2017					fevereiro 2018					julho 2018					outubro 2018			
	P1	P2	P3	P4	P6	P1	P2	P3	P4	P6	P1	P2	P3	P4	P6	P1	P2	P3	P6
INSECTA																			
Diptera																			
Chironomidae	6825	26475	1658	275	250	3025	1333	2517	142	233	1442	5950	2008	250	275	2925	18367	4275	242
Ceratopogonidae	0	0	117	0	0	0	0	58	0	0	0	0	117	0	0	0	0	25	0
Odonata																			
Libellulidae	0	0	25	0	0	0	0	50	0	0	0	0	8	0	0	0	0	25	0
Heteroptera																			
Naucoridae	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
ANNELIDA																			
Oligochaeta	6550	19308	1842	2267	992	7792	25883	2342	733	625	1658	20633	2300	608	575	3267	19042	3333	725
Hirudinea																			
Glossiphoniidae	83	0	7358	33	0	33	0	567	0	0	17	0	150	0	0	42	125	1367	0
MOLUSCA																			
Planorbidae																			
<i>Depranotrema</i> sp.	0	0	150	267	0	0	0	25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0
<i>Biomphalaria glabrata</i>	58	0	125	25	0	42	0	58	25	0	0	8	83	42	0	0	0	8	0
Ampullariidae																			
<i>Pomacea</i> sp.	8	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
Thiaridae																			
<i>Melanoides tuberculatus</i>	533	2150	717	283	67	142	33	242	58	100	58	192	283	42	33	1150	1458	1200	267
Riqueza	6	3	10	6	3	5	3	6	5	3	4	3	7	4	3	4	4	6	3
TOTAL	14058	47933	12042	3150	1309	11034	27250	5859	967	958	3175	26783	4958	942	883	7384	38992	10275	1234

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 1.4. Abundância relativa (%) e índice BMWP modificado de macroinvertebrados bentônicos, por ponto, obtidos no Rio Jaguaribe, município de João Pessoa-PB, entre dezembro de 2017 a outubro de 2018.

	VALOR BMWP	dezembro 2017					fevereiro 2018					julho 2018					outubro 2018			
		P1	P2	P3	P4	P6	P1	P2	P3	P4	P6	P1	P2	P3	P4	P6	P1	P2	P3	P6
INSECTA																				
Diptera																				
Chironomidae	2	48,6	55,2	13,8	8,7	19,1	27,4	4,9	43,0	14,7	24,4	45,4	22,2	40,5	26,5	20,6	39,6	47,1	12,1	19,6
Ceratopogonidae	4			1,0					1,0					2,4					0,1	
Odonata																				
Libellulidae	6			0,2					0,9					0,2					0,1	
Heteroptera																				
Naucoridae	5			0,2																
ANNELIDA																				
Oligochaeta	1	46,6	40,3	15,3	72,0	75,8	70,6	95,0	40,0	75,9	65,3	52,2	77,0	46,4	64,6	43,2	44,2	48,8	9,4	58,8
Hirudinea																				
Glossiphoniidae	3	0,6		61,2	1,1		0,3		9,7			0,5		3,0			0,6	0,3	3,9	
MOLUSCA																				
Planorbidae																				
<i>Depranotrema</i> sp.	3			1,2	8,5				0,4	0,9									0,1	
<i>Biomphalaria glabrata</i>		0,4		1,0	0,8		0,4		1,0	2,6				1,7	4,4					
Ampullariidae	4																			
<i>Pomacea</i> sp.		0,1		0,2										0,2						
Thiaridae	3																			
<i>Melanoides tuberculatus</i>		3,8	4,5	6,0	9,0	5,1	1,3	0,1	4,1	6,0	10,4	1,8	0,7	5,7	4,4	2,5	15,6	3,7	3,4	21,6
BMWP		16	06	34	12	06	12	06	25	09	06	09	06	26	09	06	09	09	22	06
CLASSIFICAÇÃO*		Pes	Pes	Rui	Pes	Pes	Pes	Pes	Rui	Pes	Pes	Pes	Pes	Rui	Pes	Pes	Pes	Pes	Pes	Pes

* Classificação da qualidade da água BMWP: Péssimo (Pes); Ruim (Rui); Regular (Reg); Boa (Boa); Excelente (Exc).

Fonte: Dados da Pesquisa.

No mês de dezembro de 2017, no P2, houve o maior registro dos macroinvertebrados bentônicos, com um total de 1.917,3 (densidade total de 47.933 ind.m⁻²), seguido do mês de outubro de 2018, no mesmo ponto, com 1.559,7 espécimes coletados com densidade total de 10.275 ind.m⁻². A menor densidade e número de indivíduos foi registrado no P6 do mês de julho de 2018, com 883,0 ind.m⁻² e 35,3 espécimes, respectivamente.

Os animais que mais foram frequentes e com as maiores abundâncias relativas foram os oligoquetos, principalmente no P2 mês de fevereiro de 2018, com 95% de abundância relativa e 25.883 indivíduos.m⁻² de densidade, seguido do P2 do mês de julho com 2018, (77% de abundância e 20663 ind.m⁻² de densidade). Já a menor abundância foi registrada em dezembro de 2017, no Ponto 3, com 15,3% (densidade de 1842 ind.m⁻²). Menor abundância de grupos indicadores de águas poluídas também corrobora que este local é menos poluído.

O fato de ter mais Oligochaeta no P2 do que nos demais pontos, demonstra que dentro dos trechos poluídos, esse talvez apresente melhor recurso, como a concentração maior de OD e sedimento mais arenoso (quando se coletava o sedimento com o tubo Core), para manter a sobrevivência desses organismos, visto que este grupo é indicador de ambientes poluídos. No P6, também, o ambiente é poluído; apresentou valores de oxigenação baixos e sedimento aquático mais compactado, o que pode não favorecer este grupo.

Queiroz et al. (2018), estudando os córregos no Araguaia-PA, verificaram que, em um ponto com sedimento não compactado, a baixa diversidade de espécies demonstrou no índice BMWP que a água foi classificada como péssima; o córrego foi afetado pelo escoamento de sedimentos misturados às águas pluviais e de esgoto, principalmente durante o período chuvoso, ocasionando o assoreamento e a descarga de efluentes domésticos, ocorrendo a redução do oxigênio dissolvido e afetando diretamente a fauna aquática presente no local, encontrando-se organismos resistentes, como os Oligochaeta que podem viver em condições de anoxia.

A média dos Chironomidae foi mais elevada no P2 de dezembro de 2017, atingindo abundância relativa de 52,2 % e densidade de 26.475 indivíduos.m⁻², seguido do mês de outubro de 2018, no P2, com 47,1% de abundância relativa (densidade de 18367 ind.m⁻²). Embora seja um dos animais mais frequentes ao longo do tempo, nos pontos 4 e 6, estes insetos foram pouco expressivos. Este *taxa* também é indicador de ambientes aquáticos mais poluídos.

De acordo com Trivinho-Strixino (2011), os Chironomidae se alimentam da matéria orgânica depositada no sedimento aquático de rios e lagos, mas não são exigentes quanto à

diversidade de habitats. Por isso, são capazes de resistir aos ambientes com baixa concentração de oxigênio dissolvido, sobrevivendo em condições hostis à maioria dos organismos aquáticos.

Os sanguessugas (hirudíneos da Família Glossiphoniidae) também foram frequentes, mas não tanto quanto os dois *taxa* supracitados. A maior abundância deste invertebrado foi registrada em dezembro de 2017, no P3, com 61,2% e densidade de 7.358 ind.m⁻².

Os moluscos também foram abundantes, principalmente a espécie exótica *M. tuberculatus*, cuja frequência ao longo do tempo também foi registrada. Seu maior número, em média, foi no P2 no mês de dezembro de 2017, com 86 indivíduos (embora a abundância relativa tenha sido 4,5% com densidade de 2.150 ind.m⁻²). Entretanto, a sua maior abundância foi no mês de outubro de 2018, no P6, com 21,6% (densidade de 267 ind.m⁻²).

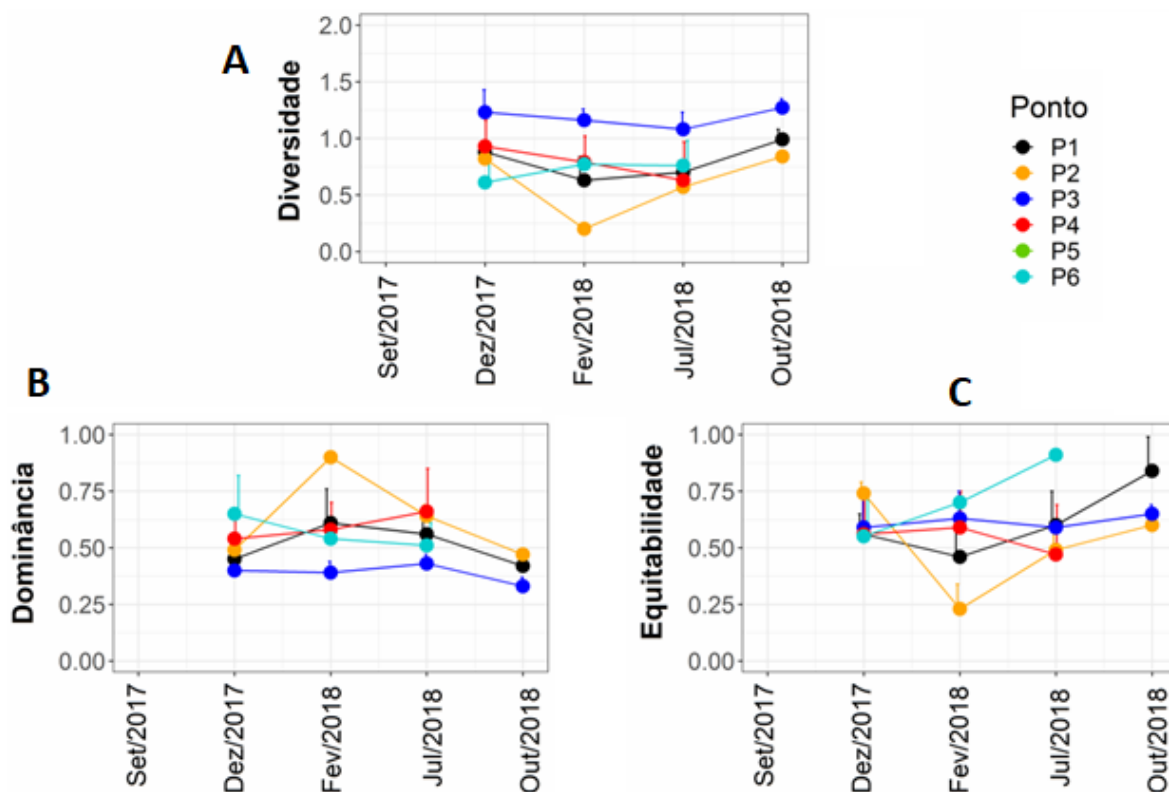
Com relação ao índice BMWP modificado, este mostrou que em quase todos os pontos de coleta, independente da época, a classificação apontou como “Péssima”, com exceção do P3 de dezembro de 2017, que totalizou 34 a maior pontuação do índice BMWP, no mês de fevereiro de 2018, com pontuação 25 e no mês de julho de 2018, com pontuação de 26 do índice, em que apresentaram classificação “Ruim” (Tabela 1.4).

No presente trabalho, embora o P3 apresentasse a maior riqueza de espécies e de índice de diversidade e a melhor classificação BMWP entre os demais pontos no Rio Jaguaribe, inclusive apresentando as concentrações de Oxigênio Dissolvido mais elevadas, isso não significou que tivesse uma boa qualidade da água, pois está recebendo águas recém-saídas da mata da Buraquinho (Jardim Botânico Benjamin Maranhão) onde houve o favorecimento pela autodepuração dentro da floresta, há um considerável despejo de efluente doméstico, advindo do Bairro da Torre, dentro da Mata do Buraquinho e que acaba contaminando o Rio Jaguaribe antes de passar por baixo da Av. Pedro II. Dessa forma, apesar de ser o melhor de todos os pontos analisados ainda é considerado “Ruim” pelo índice BMWP.

Em relação ao índice de diversidade, de Dominância e Equitabilidade dos macroinvertebrados bentônicos coletados no Rio Jaguaribe (Figura 1.7), ao longo do tempo, foi verificado que a riqueza total foi de 10 *taxa* para todo o rio, durante o período estudado.

O P3 foi o que apresentou os maiores índices de diversidade durante o período estudado, principalmente no mês de outubro de 2018, com $H = 1,27$ de Shannon, seguido do mês de dezembro de 2017, com o $H = 1,23$. Neste ponto 3, o menor valor de diversidade foi no mês de julho de 2018, com 1,08 de índice Shannon. Isso apresenta o P3 como o menos impactado em comparação com os outros pontos.

Figura 1.7. Índices de diversidade de Shannon-Weaver (A), Dominância (B) e Equitabilidade de Pielou (C) dos macroinvertebrados bentônicos coletados no Rio Jaguaribe, município de João Pessoa-PB, de dezembro de 2017 a outubro de 2018.

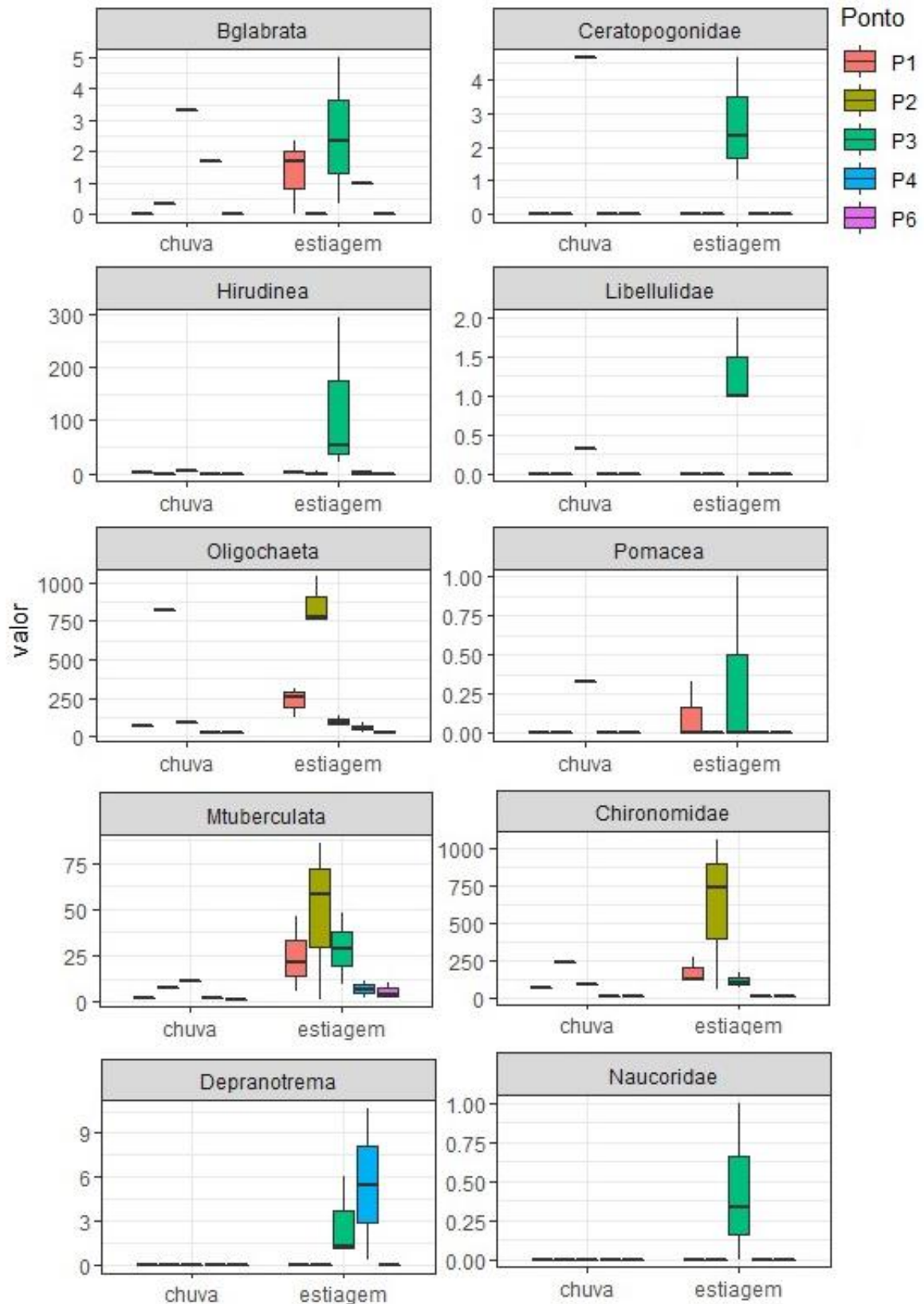


Fonte: Dados da Pesquisa.

A Figura 1.8 (e também no Apêndice 6) mostra que há diferenças dos macroinvertebrados bentônicos entre as estações do ano, indicando que a estação de estiagem foi mais propícia para os animais bentônicos, devido a menor estresse ambiental causado pelas chuvas, mas também sendo associado ao impacto do desassoreamento sazonal no Rio Jaguaribe, na época de chuvas. As Tabelas 1.5 e 1.6 trazem as análises estatísticas das diferenças entre os pontos de coleta a as estações do ano, houve diferenças na riqueza ($F = 41,73$; $p < 0,001$), na equitabilidade ($F = 4,34$; $p < 0,001$) e dominância ($F = 7,18$; $p < 0,001$) dos Macroinvertebrados Bentônicos entre os pontos de coleta foram significativos.

Quando confrontados com a matriz de correlação (APÊNDICE 1), a riqueza dos macroinvertebrados bentônicos foi correlacionada de forma positiva e significativa com o oxigênio dissolvido, juntamente com o nitrito, mas foi significativamente negativa a sua correlação com a matéria orgânica e com a temperatura.

Figura 1.8. Boxplot das medianas entre os Macroinvertebrados Bentônicos obtidos no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, por ponto, nas Estações Chuvosa e de Estiagem, entre setembro de 2017 a outubro de 2018.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 1.5. Estatística referente à riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade dos Macroinvertebrados bentônicos coletados no Rio Jaguaribe João Pessoa, PB, pelo Método GLS, para a Anova na diferença entre os pontos de coleta e no Teste t para a diferença entre as estações seca e chuvosa. Em vermelho, foram significativos.

	Pontos			Estação		
	Anova pelo método GLS			Teste t pelo método GLS		
	d.f.	F	p-value	d.f.	F	p-value
Riqueza	4	41.73	<0.001	1	0.83	0.373
Diversidade	4	2.02	0.106	1	0.43	0.517
Equitabilidade	4	4.34	<0.01	1	0.07	0.790
Dominância	4	7.18	<0.001	1	0.39	0.539
Chironomidae	4	20.22	<0.001	1	0.81	0.369
Ceratopogonidae	4	25.60	<0.001	1	0.57	0.451
Libellulidae	4	9..03	<0.001	1	2.09	0.150
Naucoridae	4	2.22	0.080	1	2.83	0.09
Oligochaeta	4	105.7	<0.001	1	1.93	0.167
Hirudinea	4	22.16	<0.001	1	8.95	0.003
<i>Depranotrema</i> sp.	4	9.599	<0.001	1	3.88	0.051
<i>B. glabrata</i>	4	10.39	<0.001	1	0.07	0.786
<i>Pomacea</i> sp.	4	1.387	0.252	1	0.02	0.886
<i>M. tuberculatus</i>	4	2.887	0.032	1	5.77	0.018

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 1.6. Médias e desvios-padrões, por ponto, com o teste de Tukey representado em letras sobrescritas: (A) dos Macroinvertebrados bentônicos coletados n Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB; (B) da riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade. NA – não analisado. Letras iguais sobrescritas em pontos diferentes significam que não houve nenhuma diferença significativa entre eles.

A

Macroinvertebrados	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Chironomidae	142.17 (95.5) ^{ab}	521.2 (421.9) ^a	104.58 (61.3) ^b	8.89 (6.81) ^c	NA	10 (6.32) ^c
Ceratopogonidae	0 ^a	0 ^a	3.17 (3.16) ^b	0 ^a	NA	0 ^a
Libellulidae	0 ^a	0 ^a	1.08 (1.56) ^b	0 ^a	NA	0 ^a
Naucoridae	0	0	0.33 (0.65)	0	NA	0
Oligochaeta	192.67 (118.5) ^a	848.67 (193.5) ^b	98.17 (38.8) ^a	48.11 (38.8) ^c	NA	29.17 (14.94) ^c
Hirudinea	1.75 (3.19) ^a	1.25 (3.19) ^a	94.42 (143.9) ^b	0.44 (1.0) ^a	NA	0 ^a
<i>Depranotrema</i> sp.	0 ^a	0 ^a	2.08 (3) ^b	3.67 (6.34) ^b	NA	0 ^a
<i>B. glabrata</i>	1 (0.29) ^{ab}	0.08 (0.29) ^a	2.75(3.49) ^b	1.22 (0.97) ^{ab}	NA	0 ^a
<i>Pomacea</i> sp.	0.08 (0.0)	0	0.33 (0.89)	0	NA	0
<i>M. tuberculatus</i>	18.83 (20.45) ^{abc}	38.33 (37.85) ^{ac}	24.42 (19.7) ^a	5.11 (6.01) ^{bc}	NA	4.67(4.79) ^b

B

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Riqueza	3.91 (0.90) ^a	3.25 (0.62) ^b	7.08 (1.31) ^c	4.33 (1.0) ^a	NA	2.83 (0.38) ^b
Diversidade	0.80 (0.18) ^a	0.60 (0.27) ^a	1.18 (0.14) ^b	0.78 (0.26) ^a	NA	0.71 (0.17) ^a
Equitabilidade	0.61 (0.18)	0.51 (0.20)	0.61 (0.08)	0.54 (0.16)	NA	0.72 (0.18)
Dominancia	0.51 (0.12) ^{ab}	0.62 (0.18) ^a	0.38 (0.06) ^b	0.59 (0.13) ^a	NA	0.56 (0.12) ^a

Fonte: Dados da Pesquisa.

As diferenças entre os pontos de coleta para os moluscos *Biomphalaria glabrata* e *Melanooides tuberculatus*, respectivamente ($F = 10,39$; $p < 0,001$ e $F = 2,887$; $p = 0,032$), também foram significativas. No entanto, entre os períodos de seca e de chuva, tais diferenças não foram significativas para os mesmos índices, mas foram significativos apenas para os *M. tuberculatus* ($F = 5,77$; $p = 0,018$), cujas populações podem ser modificadas entre as estações do ano.

Esses tiarídeos, no entanto, foram correlacionados de forma negativa e significativa com a pluviosidade, ou seja, quanto maior as chuvas, menor a densidade e/ou abundância destes gastrópodes, além de correlacionada de forma positiva e significativa com a amônia, cujo parâmetro obteve diferença também significativa entre as estações do ano.

Em relação a esse molusco, Santana et al. (2009), estudando o Riacho Aveloz (mesmo com o pior período de estiagem, este corpo aquático não dessecava no semiárido paraibano), constataram que no período de estiagem quando o teor de matéria orgânica no sedimento era mais elevado, *M. tuberculatus* foi muito abundante, mas verificaram que as chuvas influenciavam negativamente a abundância/ densidade destes moluscos. Resultados semelhantes também foram registrados em Abílio (2002) e Abílio et al. (2006) em um açude público.

Isso também corrobora com os dados obtidos nesta presente pesquisa, em que *M. tuberculatus* foi registrado em áreas que apresentam vegetação aquática, e também foram registrados em maior abundância onde a água era mais poluída, em relação a concentrações de amônia e fosfato, porém, em locais com menor quantidade de matéria orgânica, nos pontos P1 a P3.

Tratando-se da Dominância, estes foram correlacionados com o Nitrato e com o fósforo total, de forma positiva e significativa. Vale ressaltar que estas são as variáveis que são responsáveis pela poluição orgânica que causam a eutrofização e que os animais dominantes foram os Chironomidae e Oligochaeta neste trabalho.

Os Chironomidae também tiveram diferenças significativas entre os pontos ($F = 20,22$; $p < 0,001$), juntamente com o Oligochaeta ($F = 105,7$; $p < 0,001$), estes considerados como bioindicadores de má qualidade da água. Não houve diferença significativa entre as estações do ano para estes indicadores. Mas quando correlacionados com as variáveis ambientais, os Chironomidae foram correlacionados positivamente com os compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato), enquanto que o Oligochaeta foi correlacionado com temperatura, pH e nitrito, todos positivamente.

Ndaruga et al. (2004), investigando a bacia de drenagem do Gatharaini no centro do Kênia, África, sofrendo processo de poluição, observaram que o índice de biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos correlacionou negativamente com Total de Sólidos Dissolvidos, pH, turbidez e positivamente com oxigênio dissolvido, em que os dípteros foram dominantes em muito pontos ao passo que a dominância de Oligochaeta aumentou no baixo rio em correspondência com o aumento da deterioração do rio.

De acordo com Brasil (2001) e Barella et al (2019), delongadas exposições a concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 5mg.L^{-1} não necessariamente matam os organismos presentes, mas aumentam a susceptibilidade ao estresse. Porém, em exposição abaixo de $2,0\text{mg.L}^{-1}$ podem levar à morte da maioria dos organismos, por causa de descarga de material orgânico em excesso nos ambientes aquáticos pode resultar no esgotamento de oxigênio do sistema. Quanto mais reduzida for a concentração de oxigênio dissolvido, mais poluído o curso de água se encontra, influenciando diretamente na biodiversidade aquática (ROSANOVA et al, 2019).

No presente trabalho, a menor diversidade foi registrada no Ponto 2, no mês de fevereiro de 2018, cujo valor de Shannon foi de $H' = 0,2$. Foi este ponto e período que coincidiu com o maior índice de dominância neste mês ($D = 0,9$) (vide Figura 1.7 B); o *taxon* dominante foi Oligochaeta. Este é o local que recebe os esgotos dos bairros do Varjão (Rangel), além dos que são despejados desde a cabeceira do Rio Jaguaribe.

No mês de fevereiro, logo após o início das chuvas, registrou-se o aumento da espécie dominante, em que oligoqueta representou 95% dos macroinvertebrados presentes. Em dezembro de 2017, no mesmo ponto 2, esse *taxa* dividiu a dominância com Chironomidea, mas como este grupo de dípteros é representado nas formas larvares, quando os organismos viraram adultos alados, as Oligochaeta mantiveram-se quase isoladamente no ambiente, afetando os índices ecológicos. Com o início das chuvas verificou-se a diminuição do pH, do oxigênio dissolvido, aumento do fósforo total e isso deve ter limitado a abundância das outras espécies presentes, levando à dominância de oligoquetos. O Ponto 2 tem o sedimento arenoso, o que facilita a instalação dos Chironomidae e Oligochaeta.

Os autores Suriani-Affonso et al. (2011) e Sanches (2016) evidenciaram que os Oligochaeta foram correlacionados com substratos arenosos e com maior abundância no período chuvoso.

O sucesso de colonização de várias espécies de Oligochaeta está associado principalmente à sua capacidade de se reproduzir assexuadamente, como também à presença

de brânquias e apêndices respiratórios que permitem que esses organismos habitem sistemas onde o oxigênio é limitante (MORETTO et al., 2013). Porém, para ter esse desenvolvimento rápido no ambiente, o oxigênio dissolvido deverá estar periodicamente disponível, não deverá haver subproduto de metabolismo anaeróbico e o recurso alimentar disponível e livres de relações ecológicas com outros zoobentos (predação e competição, principalmente) (WETZEL, 1993).

Algumas espécies dessa classe são consideradas eficientes bioindicadoras de avaliação de estado trófico e poluição orgânica da água e do sedimento (BEHREND et al., 2012). A subfamília Tubificinae é a mais comumente encontrada em ambientes organicamente enriquecidos, sedimentos lodosos, pouco oxigenados ou até mesmo anóxicos, onde a maioria das espécies competidoras e predadoras já foi eliminada pela poluição (CORBI; TRIVINHO-STRIXINO, 2002), o que pode ter facilitado a alta densidade desses anelídeos.

Sanches (2016) ao estudar três córregos urbanos em Bocaina (SP), verificou que a oligofauna foi composta principalmente por espécies geralmente encontradas em ambientes impactados, com baixa concentração de oxigênio dissolvido e alta Condutividade Elétrica.

Sales et al. (2015) encontraram quatro espécies de *Oligochaeta* no Rio Poti, em Teresina-PI, cujas espécies indicaram locais com grande aporte de material orgânico no sedimento e, conseqüentemente baixos valores de oxigênio dissolvido no sedimento e coluna de água.

As espécies de *Oligochaeta* límnicos vivem em todos os tipos de habitats, mas são mais abundantes em águas rasas (RUPPERT; FOX; BARNES, 2005). Entretanto, algumas espécies tolerantes de *Oligochaeta* tendem a aumentar a sua abundância relativa em relação aos Chironomidae sob condições de enriquecimento de nutrientes ou poluição específica, no qual a medida que vai aumentando a poluição orgânica de cursos de água e/ou a depleção do oxigênio dissolvido, condição letal para a maioria dos organismos, mais abundantes se tornam esses anelídeos.

Lisboa, Silva, e Petrucio (2011), estudando uma laguna em Santa Catarina (sem influência do mar) concluiu que as características do sedimento e a profundidade local foram mais significativamente importantes do que as variáveis físicas e químicas da água na determinação da comunidade de invertebrados bentônicos, principalmente em anelídeos *Oligochaeta* e *Hirudinea*, em que a matéria orgânica e a profundidade foram significativamente negativas.

Spänhoff et al. (2006) estudando as assembleias de invertebrados bentônicos que habitam o leito arenoso em dos dois locais do Rio Saale (Thuringia, Alemanha), verificaram que foram dominadas por Chironomidae e por Oligochaeta, habitantes típicos de sedimentos finos.

De acordo com Bevilacqua (2014), algumas espécies de Oligochaeta conseguem sobreviver em lugares com pouca concentração de oxigênio, podendo ser comumente observados em ambientes organicamente poluídos em alta densidade.

Azrina et al. (2006), comparando o alto e o baixo Rio Langat, na Malásia, com diferentes efeitos antrópicos, verificou que no primeiro caso encontraram uma alta diversidade de zoobentos, enquanto que na parte baixa, havia apenas organismos resistentes, dominados pelos Oligochaeta, sendo estas consideradas como bioindicadores de poluição de ecossistemas aquáticos.

Em relação à equitabilidade de Pielou (*vide* Figura 1.7 C) no presente trabalho, mesmo com a alta diversidade no P3, o maior valor deste índice foi registrado no P6, no mês de julho de 2018 ($J = 0,91$), em comparação com $J = 0,65$ em outubro de 2018 do ponto 3, seguido do mês de outubro de 2018 ($J = 0,84$ no P6). Outubro já não apresentou precipitação, permitindo uma nova estabilização no ambiente, embora as condições ambientais piorassem novamente, com o aumento de concentrações de amônia, nitrato e fósforo total, resultado da menor diluição, pela ausência da chuva.

Essa maior equitabilidade no P6 foi devido à menor diferença entre as densidades de Chironomidae e Oligochaeta visto que nesse mês apenas 3 grupos foram registrados no P6, para além desses dois, *M. tuberculatus*. Já a menor equitabilidade foi registrada em fevereiro de 2018, no P2, obtendo-se o valor de $J = 0,23$. Em fevereiro no P2, esses mesmos grupos citados acima foram os únicos registrados, mas os oligoquetos apresentaram uma abundância muito maior que os outros dois, causando essa diminuição no índice de equitabilidade.

Comparando os resultados com outros trabalhos semelhantes, Henriques-de-Oliveira et. al. (2007) mostraram em sua pesquisa que os valores de riqueza taxonômica, equitatividade e diversidade de invertebrados bentônicos foram inferiores em rios com descarga de efluentes comparando com os ambientes sem descarga de esgoto, mostrando também que os Oligochaeta e larvas de Chironomidae foram os mais dominantes.

De acordo com Matos (2009) e Cardoso e Novais (2013), a ordem Diptera, pertencente à família Chironomidae (espécie mais encontrada nas amostras), são os organismos que

apresentam maior resistência à degradação ambiental, o que indica forte perturbação na qualidade da água no trecho em análise.

Da mesma forma, Montanholi-Martins e Takeda (2001), ao estudar a composição e a variação espacial e temporal da comunidade de Oligochaeta em ambiente lótico e lêntico, verificaram que os Oligochaeta no local que continha um elevado teor de matéria orgânica (associada a maior poluição) no sedimento e em baixa correnteza eram mais abundantes.

Corroborando com a bioindicação de oligoquetos para águas mais poluídas, Azrina et al. (2006) ao comparar o alto e o baixo Rio Langat (Malásia) com diferentes efeitos antrópicos, verificaram que no alto curso ocorreu uma alta diversidade de zoobentos, enquanto que na parte baixa haviam apenas organismos resistentes, dominados pelos Oligochaeta, sendo estes considerados como bioindicadores de poluição de ecossistemas aquáticos.

De fato, no presente trabalho, quanto maior o teor de matéria orgânica, associado ao tipo de sedimento, sendo o arenoso o preferencial, mais os Oligochaeta dominaram. Calisto et al. (2001), demonstrou que os locais mais poluídos geralmente possuem baixa diversidade de espécies e elevada densidade de organismos restritos a grupos mais tolerantes, o que foi observado neste estudo para o Rio Jaguaribe, principalmente com a presença de oligoquetos e quironomídeos.

Já Buss et al. (2002) e Miranda et al. (2016) verificaram que os caramujos da família Planorbidae, que englobam os gêneros *Biomphalaria* e *Drepanotrema*, vivem associados a plantas aquáticas e ambientes ricos em material orgânico, de modo que são mais abundantes onde essas plantas apresentam-se em grande quantidade e a água está organicamente poluída.

No presente trabalho, com relação à Análise de Correspondência Canônica (CCA), que pode analisar tanto os Macroinvertebrados Bentônicos em relação às variáveis ambientais, quanto a riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade dos mesmos, em relação também com as variáveis ambientais, estão representadas na Tabela 1.7, seguido pela Figura 1.9.

Na CCA das variáveis ambientais relacionadas com a abundância de bentos, os três primeiros componentes explicam 88% da variância ocorrida, sendo que a primeira dimensão explicou 65,0% e a segunda 18,5%. Os parâmetros que mais influenciaram as variâncias na dimensão 1 foram o Oxigênio Dissolvido, a Matéria Orgânica. O Oxigênio dissolvido foi negativamente relacionado com Chironomidae e Oligochaeta, porém estes foram influenciados positivamente pela matéria orgânica do sedimento, sendo mais importante a variância entre os pontos no Rio Jaguaribe. Isso pode explicar a presença destes grupos no P6, devido à menor concentração de Oxigênio Dissolvido.

Já no componente 2, os parâmetros mais importantes e influenciadores na variância foram pH, que influenciou negativamente os Chironomidae e Oligochaeta, e o Nitrato (NO_3^-) que influenciou de forma positiva estes dois *taxa*, mas foi negativo para *M. tuberculatus*. Aqui, a estação do ano foi mais importante, favorecendo os Chironomidae e Oligochaeta, mas sendo desfavorável para *M. tuberculatus*.

A CCA das variáveis ambientais relacionadas com a riqueza, diversidade, equitabilidade e dominância do zoobentos, revelou que os três primeiros componentes explicam 70,4% da variância, sendo que o primeiro componente explica 52% e o segundo 17,5%.

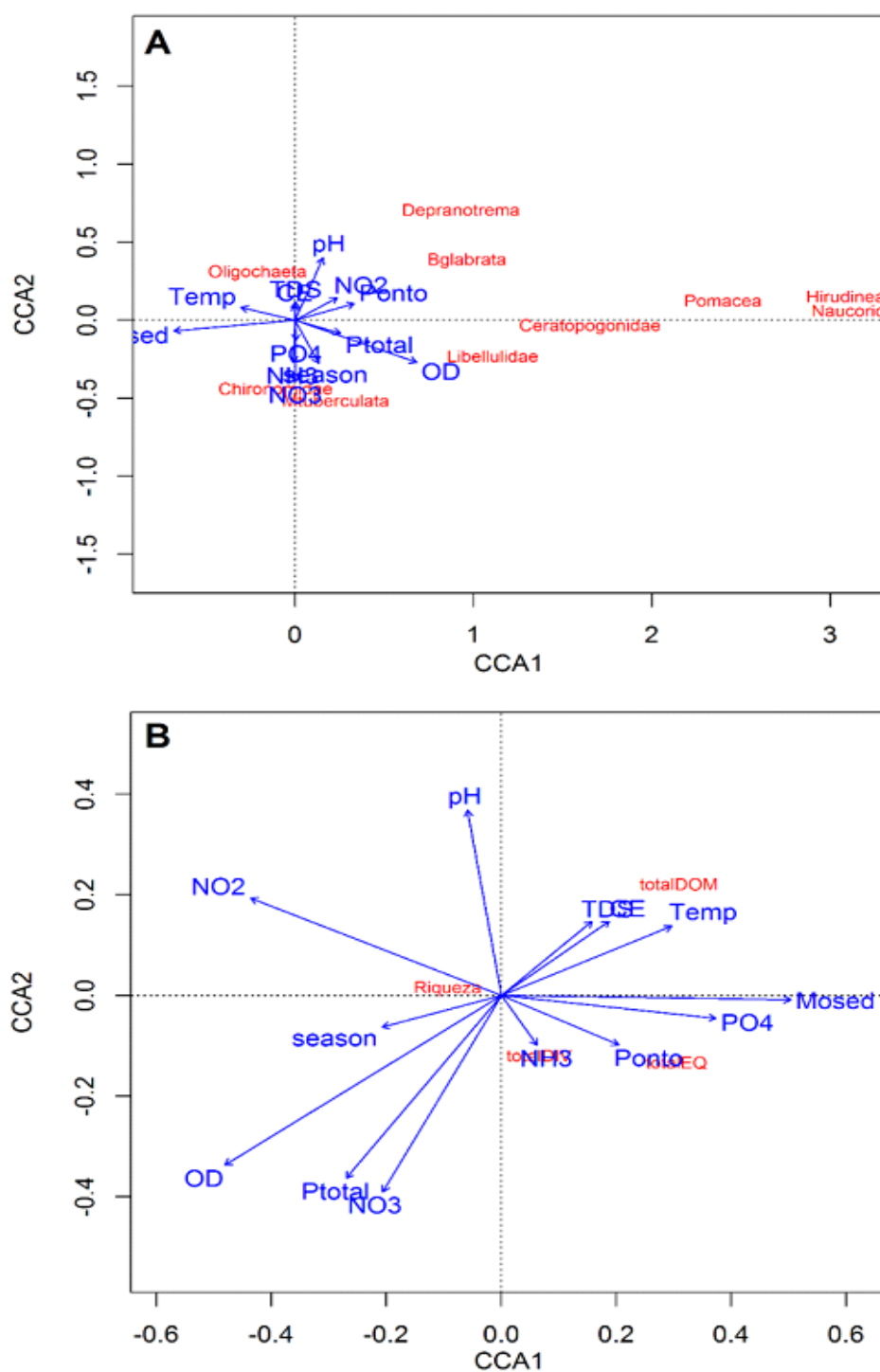
Tabela 1.7. Autovalores e explicabilidade das dimensões e relação das variáveis do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB entre os meses de setembro de 2017 a outubro de 2018: (A) variáveis ambientais x macroinvertebrados bentônicos; (B) variáveis ambientais x riqueza, diversidade, equitabilidade e dominância dos macroinvertebrados bentônicos.

A	Variáveis Ambientais	CCA1	CCA2	CCA3	Bentos	CCA1	CCA2	CCA3
	OD	0.75	-0.29	-0.01	Chironomidae	-0.10	-0.43	0.02
	TEMP	-0.33	0.09	-0.09	Ceratopogonidae	1.65	-0.03	-0.32
	PH	0.17	0.44	-0.02	Libellulidade	1.10	-0.22	0.33
	CE	-0.00	0.10	-0.10	Naucoridae	3.15	0.06	0.11
	TSD	0.00	0.13	-0.10	Oligochaeta	-0.21	0.30	0.01
	NH3	-0.01	-0.29	-0.19	Hirudinea	3.08	0.15	0.11
	NO2	0.26	0.15	0.33	Depranotrema	0.93	0.69	-3.65
	NO3	0.00	-0.43	-0.05	B. glabrata	0.96	0.38	-0.69
	PO4	0.00	-0.14	-0.40	Pomacea	2.40	0.12	-0.13
	PT	0.28	-0.09	-0.40	M. tuberculata	0.22	-0.51	-0.32
	Mosed	-0.75	-0.07	-0.22				
	Ponto	0.36	0.11	-0.41				
	Season	0.14	-0.30	-0.12				

B	Variáveis Ambientais	CCA1	CCA2	CCA3	Bentos	CCA1	CCA2	CCA3
	OD	-0.59	-0.41	0.18	Riqueza	-0.09	0.01	0.002
	TEMP	0.36	0.17	-0.28	Equitabilidade	0.30	-0.13	0.02
	PH	-0.07	0.45	0.26	Dominância	0.30	0.22	-0.007
	CE	0.23	0.18	-0.02	Diversidade	0.06	-0.11	-0.02
	TSD	0.19	0.18	-0.02				
	NH3	0.07	-0.12	-0.31				
	NO2	-0.53	0.23	-0.42				
	NO3	-0.25	-0.48	-0.06				
	PO4	0.46	-0.05	-0.07				
	PT	-0.33	-0.44	-0.19				
	Mosed	0.62	-0.01	-0.38				
	Ponto	0.25	-0.12	0.20				
	Season	-0.25	-0.07	-0.33				

Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 1.9. Resultado da Análise de Correspondência Canônica (CCA) para o efeito das variáveis ambientais sobre o macroinvertebrados bentônicos (A) e índice de Diversidade (B) no rio Jaguaribe, João Pessoa-PB entre dezembro de 2017 a outubro de 2018.



Fonte: Dados da Pesquisa.

No componente 1, os parâmetros mais importantes foram a Matéria Orgânica do sedimento e Ortofosfato (positivo para equitabilidade e dominância), o Oxigênio Dissolvido e

Nitrito (negativo para equidade e dominância), sendo que tanto os pontos quanto a estação do ano tiveram pesos iguais na influência das variâncias.

Para o componente 2, os que mais influenciaram foram o Nitrato, o Oxigênio Dissolvido e o Fósforo total, estes contribuindo negativamente para a equitabilidade, enquanto que o pH apresentou relação positiva com a dominância.

1.4. CONCLUSÃO

A comunidade de macroinvertebrados bentônicos ao longo dos pontos analisados no Rio Jaguaribe é composta principalmente por espécies “resistentes à poluição”, em virtude da presença em maior abundância de oligoquetos e quironomídeos, dois grupos indicadores de águas poluídas.

O P3 que apresentou melhor qualidade de água em relação aos demais, foi também o que registrou o maior índice de biodiversidade entre os macroinvertebrados (embora na classificação BMWP, estivesse como “Ruim”). Apesar dos compostos nitrogenados, principalmente o nitrito, também indicador de poluição ter sido mais elevado no P3, isso é o resultado da melhor qualidade ambiental pelo aumento das concentrações de oxigênio dissolvido, permitindo a nitrificação de amônia para nitrito. As concentrações de fosfato foram menos elevadas neste ponto, o que revela a melhor qualidade de água dentre os pontos coletados.

O fato do Ponto 3 ser após a saída da Mata do Buraquinho, demonstra a importância de resquícios de mata, para auxiliar na depuração dos ecossistemas aquáticos; daí a importância da manutenção ou recuperação das matas ciliares em Áreas de Preservação Permanente.

Apesar de os pontos P4 e P6 terem apresentado menor número de organismos macroinvertebrados bentônicos, principalmente oligoquetas e larvas de inseto (Chironomidae), isto não significa melhor qualidade de água; pelo contrário, que pode ser tão impactado que nem esses organismos resistem. Isso foi observado nos níveis de oxigênio dissolvido abaixo de $2 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$, abaixo do estabelecido pelo CONAMA 357/2005, podendo levar à morte de organismos, embora as concentrações de compostos nitrogenados tenham sido menos elevadas que em outros pontos amostrais, devido à presença nesses locais de grandes bancos de macrófitas que ocupam toda a superfície do rio. Os animais mais frequentes e dominantes ao longo de todo o rio (larvas de quironomídeos e oligoquetos), assim como a ausência de grupos

indicadores de melhor qualidade de água, associado aos elevados valores de fósforo indicam que o Rio Jaguaribe está poluído em toda a sua extensão.

Conclui-se, com o monitoramento realizado, que os trechos do Rio Jaguaribe mais poluídos são o P6, P4, P2 e P1, tendo uma Classificação BMWP “Péssimo”, e que o menos poluído foi o P3, apesar de este também ser considerado poluído, por ter sido classificado como RUIM na classificação pelo índice BMWP modificado.

Assim, a hipótese 1 de que o Rio Jaguaribe está poluído em toda a sua extensão foi aceita; a hipótese 2, que estimava baixa diversidade dos rios, também foi aceita.

REFERÊNCIAS

- ABÍLIO, F. J. P.. **Gastrópodes e outros invertebrados bentônicos do sedimento litorâneo e associados a macrófitas aquáticas em açudes do semi-árido paraibano, nordeste do Brasil..** 2002. 216 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- ABÍLIO, F.J.P.; FONSECA-GESSNER, A.A.; LEITE, R.M.; RUFFO, T.L.M. **Gastrópodes e outros invertebrados bentônicos do sedimento e associado a Eichhornia crassipes de um açude hipertrófico do semi-árido paraibano.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, 6(1): 165-178, 2006.
- ALBERTI, M.; BOOTH, D.; HILL, K.; COBURN, B.; AVOLIO, C.; COE, S.; SPIRANDELLI, D.. **The impact of urban patterns on aquatic ecosystems : An empirical analysis in Puget lowland sub-basins.** Landscape and Urban Planning, 80: 345–361, 2007.
- ALVES-FILHO, H. T.; HENRIQUES, K. R. S.; RIBEIRO, J. Í. C. **Análise comparativa dos parâmetros determinados pela sudema do rio jaguaribe com padrões conama 357/05.** Anais do Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia da UEPB - ISSN 2317-0050, 1(1): 1-10, 2012.
- AZRINA, M. Z.; YAP, C. K.; RAHIM ISMAIL, A.; ISMAIL, A.; TAN, S. G. **Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia.** Ecotoxicology and environmental Safety 64:337-347, 2006.
- BARELLA, L.A.; ETHUR, E.M.; HOEHNE, L.; SENHORAS, E.M.; ZINELLI, M.R.. **Avaliação dos Recursos Hídricos na área Rural da Bacia Mariana I em Alta Floresta (MT).** Revista Multidisciplinar e de Psicologia, 13(47): 1252-1264, 2019.
- BATISTA, M. M.; ATHAYDE-JUNIOR, G. B.. **Balanço de oxigênio dissolvido no médio curso do Rio Jaguaribe em João Pessoa – PB,** XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal-RN, 4 a 7 de novembro de 2014.
- BEHREND, R.D.L., TAKEDA, A.M., GOMES, L.C. e FERNANDES, S.E.P. **Using Oligochaeta assemblages as na indicator of environmental changes.** Brazilian Jornal of Biology, 72(4): 873-884, 2012.
- BERGER, W.H.; PARKER, F.L.. **Diversity of Planktonic Foraminifera in Deep-Sea sediments.** Science, 168(3927): 1345-1347, 1970.

BEVILACQUA, M. S.. **Oligochaeta em riachos (igarapés) da floresta nacional Saracátaquera (PA):** Abundância, Riqueza, Diversidade e potencial como Indicador de impacto antrópico. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 71 f., 2014.

BRASIL. EMBRAPA. **Oxigênio Dissolvido.** ECOÁGUA. Convênio SRH/MMA/EMBRAPA/BIRD n. 475/98. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 07 de novembro de 2001. Disponível em <<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/oxigdiss.html>>. Acesso em 30 de setembro de 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. 2005. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005.

BUSS, D.F.; BAPTISTA, D.F.; SILVEIRA, M.P.; NESSIMIAN, J.L.; DORVILLÉ, L.F.M.. **Influence of water chemistry and environmental degradation on macroinvertebrate assemblage in a stream basin in Southeast Brazil.** Hydrobiologia 481(82):299-305, 2002.

CARDOSO, R. DOS S; NOVAES, C. P. **Variáveis limnológicas e macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, 1(5): 16-35, 2013.

CALLISTO, M.; MORENO, P. & BARBOSA, F. A. R.. **Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra do Cipó, Southeast Brazil.** Revista Brasileira de Biologia 61(2):259-266, 2001.

CAVALCANTI, R. G. **Influência da mata do buraquinho sobre a qualidade da água do Rio Jaguaribe.** Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba, 55f, 2013.

CASTRO, M.N.; CASTRO, R. M.; SOUZA, P.C.. **A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo.** Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia, 4: 230-241, 2013.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Mortandade de Peixes** - 2019. Acessado em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/contaminantes/amonia/>>, às 10:55 em 10 de dezembro de 2019.

CORBI, J.J.; TRIVINHO-STRIXINO, S. **Spatial and bathymetric distribution macrobenthic fauna of the Ribeirão das Anhumas reservoir (Américo Brasiliense-SP, Brasil).** Acta Limnologica Brasiliensia, 10(1): 37-47, 2002.

EPLER, J.H. **Identification manual for the aquatic and semi-aquatic Heteroptera of Florida (Belostomatidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gerridae, Hebridae, Hydrometridae, Mesoveliidae, Naucoridae, Nepidae, Notonectidae, Ochteridae, Pleidae, Saldidae, Veliidae).** 2006.

ESTEVES, F.A.; MEIRELLES-PEREIRA, F.. Eutrofização Artificial, 625 a 655pp. In: ESTEVES, F.A.. **Fundamentos de Limnologia.** 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.

ESTEVES, F.A.; AMADO, A.M. Nitrogênio, 239 – 258pp. In: **Fundamentos de Limnologia.** 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.

GOLDIN, A. **Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils.** Commun. Soil Sci. Plant. Anal., 18:1111-1116, 1987.

- HAWKES, H. A.. **Origin and development of the Biological Monitoring Working Party score system. Technical note.** Water Research, 32:964-968, 1997.
- HENRIQUES-DE-OLIVEIRA, C.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L.. **Sewage input effects on the macroinvertebrate community associated to *Typha domingensis* Pers in a coastal lagoon in southeastern Brazil.** Brazilian Journal of Biology 67(1):73-80, 2007.
- JUNQUEIRA, M. V.; CAMPOS, S. C. M. **Adaptation of the “BMWP” method for water quality evaluation to rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brasil).** Acta Limnologica Brasiliensia, 10(2): 125-135, 1998.
- LISBOA, L. K.; SILVA, A. L. L.; PETRUCIO, M. M. **Aquatic invertebrate’s distribution in a freshwater coastal lagoon of southern Brazil in relation to water and sediment characteristics.** Acta Limnologica Brasiliensia, v. 23, n. 2, p. 119–127, 2011.
- MATOS, R. J. **Planejamento Ambiental na Bacia do Manancial Rio Santo Anastácio: estudo aplicado a sub-bacia do córrego Botafogo / Presidente Prudente.** Monografia (Bacharel em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. 2009.
- MERRIT, R.W.; CUMMINS, K.W. **An introduction to the aquatic insects of North America**, 2a. ed., Kendall/Hunt Pub. Co. Dubuke, USA. 772p. 1984.
- MILESI, S. V.; BIASI, C.; RESTELLO, R. M; HEPP, L. U. **Efeito de metais cobre (Cu) e Zinco (Zn) sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em riachos do sul do Brasil.** Acta Scientiarum. Biological Sciences, v. 30, n. 3, p. 283-289, 2008.
- MILLIGAN, M.R. **Identification Manual for the Aquatic Oligochaeta of Florida.** Volume 1, Clean Water atc. 205 Sarasota, Florida, 194f. 1997.
- MIRANDA, G. S.; RODRIGUES, J. G. M.; LIRA, M. G. S.; NOGUEIRA, R. A.; GOMES, G. C. C.; MIRANDA, B. S.; ARAÚJO, A.; SILVA-SOUZA, N.. **Moluscos límnicos como hospedeiros de trematódeos digenéticos de uma região metropolitana da ilha do Maranhão, Brasil.** Scientia Plena 12(9): 1 – 11, 2016.
- MONTANHOLI-MARTINS, M. C.; TAKEDA, A.M. **Spatial and temporal variations of oligochaetes of the Ivinhema River and Patos Lake in the Upper Paraná River Basin, Brazil.** Hydrobiologia 463:197-205, 2001.
- MORETTO, Y.; SIMÕES, N.R.; BENEDITO, E.; HIGUTI, J. **Effect of trophic status and sediment particle size on diversity and abundance of aquatic Oligochaeta (Annelida) in neotropical reservoirs.** Annales de Limnologie - International Journal of Limnology, 49(1): 65-78, 2013.
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro.** 1ª ed. Rio de Janeiro, Techincal Books. 2010.
- NDARUGA, A. M.; NDIRITU, G. G.; GICHUKI, N. N.; WAMICHA, W. N.. **Impact of water quality on macroinvertebrate assemblages along a tropical stream in Kenya.** African Journal of Ecology, 42: 208-216, 2004.
- OLIVEIRA, F. M. F. **Restauração de ecossistemas aquáticos a partir da biorremediação.** Tese de doutorado apresentada à Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal da Paraíba, *Campus I*, João Pessoa-PB, 230f., 2020.
- OSBORNE, L. L.; KOVACIC, D. A. **Riparian vegetated buffer strips in water quality restoration and stream management.** Freshwater Biology, 59: 243-258, 1993.

- PIELOU, E. C.. **The Measurement of Diversity in Different Types of Biological Collections.** Journal of Theoretical Biology, 13, 131-144, 1966.
- PIMENTA, S.M.; BOAVENTURA, G.R.; PEÑA, A.P.; RIBEIRO, T.G.. **Estudo da qualidade da água por meio de bioindicadores bentônicos em córregos da área rural e urbana.** Revista Ambiente e Água 11(1): 198 - 210, 2016.
- QUEIROZ, M.E.F.; SCHÄFFER, A.L.; VILLELA, A.C.A.S.; MARTINS, D.E.M.; SILVA, P.H.T.. **Utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores em córrego urbano de Conceição do Araguaia-PA.** Sustentabilidade em Debate, 9(3): 96–110, 2018.
- RIBEIRO, L. O.; UIEDA, V. S. **Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil.** Revista Brasileira de Zoologia, 22(3): 613-618, 2005.
- ROSANOVA, C.; PINHO, E.S.; MATOS, F.T.; AKAMA, A.; BUENO, G.W.; MACEDO, D.B.. **Monitoramento da aquicultura em reservatórios continentais por meio do índice de estado trófico.** Nativa, Sinop, 7(3): 262-267, 2019.
- RUPPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D.. **Zoologia de Invertebrados:** uma abordagem funcional-evolutiva, 7ª ed. Roca: São Paulo. 1168p., 2005.
- SANTANA, A. C. D.; SOUZA, A. H. F. F.; RIBEIRO, L. L.; ABÍLIO, F. J. P. **Macroinvertebrados associados à macrófita aquática *Najas marina* L. do riacho Avelós, na região semi-árida do Brasil.** Revista de Biologia e Ciências da Terra 9(2):32-46. 2009.
- SANCHES, N. A. D. O. Comunidade de oligochaeta (annelida: clitellata) em córregos urbanos do município de Bocaina - SP. **Dissertação (Mestrado)- Centro Universitário de Araraquara Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente**, p. 96f., 2016.
- SALES, P. C. L.; RAGONHA, F. H.; RODRIGUES, E. I.; DEUS, M. S. M.; LOPES, M. S.; TAKEDA, A. M. **Primeiros registros de espécies de Oligochaeta aquática (Annelida - Clitellata) do Estado Piauí (Nordeste – Brasil).** Arquivos do MUDI, 18(2): 1–4, 2015.
- SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The Mathematical Theory of Communication.** The University of Illinois Press, Urbana, 1964.
- SPÄNHOF, B.; BISCHOF, R.; BÖHME, A.; LORENZ, S.; NEUMEISTER, K.; NÖTHLICH, A.; KÜSEL, K.. **Assessing the Impact of Effluents from a Modern Wastewater Treatment Plant on Breakdown of Coarse Particulate Organic Matter and Benthic Macroinvertebrates in a Lowland River.** Water, Air, and Soil Pollution, 180: 119-129, 2006.
- SURIANI-AFFONSO, A.L.; FRANCA, R.S.; MARCHESE, M.; ROCHA, O.. **Environmental factors and benthic Oligochaeta (Annelida, Clitellata) assemblages in a stretch of the Upper São Francisco River (Minas Gerais State, Brazil).** Brazilian Journal of Biology, São Carlos, 71(2): 437-446, 2011.
- THOMPSON, F. G. **An Identification Manual for the Freshwater Snails of Florida.** Florida Museum of Natural History, Gainesville. 2004.
- TRIVINHO-STRIXINO, S. **Larvas de Chironomidae:** guia de identificação. São Carlos, UFSCar. 371 p, 2011.
- VERKAIK, I.; FORTUÑO, P.; PRAT, N.. **RiuNet 'El Manual' para consultar los contenidos de la app y poder hacer una evaluación sin el uso del móvil.** FEHMLab (Freshwater Ecology, Hydrology, and Management) Research Group. Universitat de Barcelona. 79 pp. 2019.

WETZEL, R. G. **Periphyton of freshwater ecosystems development.** The Hague. Dr. W. Junk Publ. Developments Hydrobiology, 17, 1983.

CAPÍTULO 2



**APLICAÇÃO DE BIORREMEDIAÇÃO POR
PERIFÍTON NA MELHORIA DA QUALIDADE
DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE**

APLICAÇÃO DE BIORREMEDIAÇÃO POR PERIFÍTON NA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE

RESUMO

Os rios urbanos recebem uma grande carga de esgoto não tratado, o que leva à eutrofização dos corpos hídricos. O Rio Jaguaribe, em João Pessoa-PB, não é diferente. Visando contribuir com a recuperação do Rio Jaguaribe, testou-se a aplicação do Biotratamento, que utiliza organismos para remediar problemas ambientais, utilizando-se o biofilme como remediador, como forma alternativa e de baixo custo para a melhoria da qualidade do Rio Jaguaribe. O objetivo deste trabalho foi testar a aplicação do Biotratamento em trechos do Rio Jaguaribe. Assim, foram selecionados três Pontos: P1, Vale das Palmeiras; P3, na Comunidade São Rafael e P4 na Comunidade Tito Silva. Foram utilizados módulos formados por quadrados de cano PVC, como flutuadores, contendo cortinas de plástico arranjadas em 05 fileiras, que ficam imersas e seguindo a direção da correnteza do rio. Para avaliar o efeito do Biotratamento, foram analisados parâmetros físicos e químicos da água, coletadas a montante e a jusante dos módulos de biorremediação. Os resultados obtidos mostraram, de forma significativa, que a jusante, nos três pontos, houve aumento significativo do Oxigênio Dissolvido e a redução nos valores da Condutividade Elétrica e do Fósforo total. Houve também tendência de redução nos valores de Nitrato, Ortofosfato e Amônia, porém, significativa. Com isso, reforça-se o uso dos módulos de Biorremediação pelo perifíton ao longo de todo o rio Jaguaribe para melhorar a qualidade da água, principalmente onde há aglomerações ribeirinhas. Esta técnica pode se estender para outros rios urbanos.

Palavras-chaves: Biorremediação, Biofilme, substrato artificial, autodepuração, rio Jaguaribe..

ABSTRACT

APPLICATION OF PERIPHYTON BIOREMEDIATION IN IMPROVING WATER QUALITY IN THE JAGUARIBE RIVER

Urban rivers receive a large load of untreated sewage, which leads to eutrophication of water bodies. The Jaguaribe River, in João Pessoa-PB, is no different. In order to contribute to the recovery of the Jaguaribe River, the application of Biotreatment was tested, which uses organisms to remedy environmental problems, using biofilm as a bioremediator, as an alternative at low cost to improve the quality of the water of the Jaguaribe River. The aim of this work was to test the application of Biotreatment in stretches of the Jaguaribe River. Thus, three Points were selected: P1, Vale das Palmeiras; P3, in the São Rafael Community and P4 in the Tito Silva Community. Modules formed by squares of PVC pipe were used as floats, containing plastic curtains arranged in 05 rows, which are immersed and following the direction of the river current. To evaluate the effect of Biotreatment, physical and chemical parameters of the water were analyzed, collected upstream and downstream of the bioremediation modules. The results obtained showed, significantly, that downstream, at the three points, there was a significant increase in Dissolved Oxygen and a reduction in the values of Electrical Conductivity and total Phosphorus. There was also a tendency of reduction in the values of Nitrate, Orthophosphate and Ammonia, however, not significant. As a result, the use of Bioremediation modules by the periphyton is reinforced along the entire Jaguaribe River to improve water quality, especially where there are riverside agglomerations. This technique can be extend to other urban rivers.

Keywords: Bioremediation, Biofilm, artificial substrate, self-purification, Jaguaribe river.

2.1. INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, as civilizações humanas buscaram áreas férteis e irrigadas para se estabelecer como comunidades, geralmente próximas a rios e córregos. Botelho (2011) afirmou que a partir de então, as bacias hidrográficas passaram a sofrer com as intervenções antrópicas, e à medida que o homem foi evoluindo, passou a modificar o meio ambiente cada vez mais, visando suprir as suas necessidades e, como consequência, iniciou-se o processo de degradação do meio ambiente.

A ação antrópica em uma bacia hidrográfica pode ocasionar diversos impactos negativos, como o aumento do escoamento superficial, alagamentos e poluição dos ambientes aquáticos, podendo assim, alterar a qualidade das águas. De acordo com Bucci e Oliveira (2014), em geral, os mananciais brasileiros apresentam processos de degradação na sua qualidade.

Os ambientes aquáticos lóticos são os principais receptores/escoadouros de efluentes tanto domésticos como industriais, e à medida que os volumes desses efluentes aumentam, menor a sua capacidade de autodepurar-se, pois apresentam modificações tanto na qualidade da água quanto na comunidade biológica (SCHAFFER, 1985).

De acordo com o relatório do Programa Conjunto de Monitoramento (JMP) da OMS e do UNICEF "Progressos sobre água, saneamento e higiene: 2000-2017: Foco especial nas desigualdades", até o ano de 2017, cerca de 2,2 bilhões de pessoas em todo o mundo não têm serviços de água tratada, 4,2 bilhões de pessoas não têm serviços de saneamento adequado (UNICEF; OMS, 2019). Uma vez que de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no Brasil, em 2016 o índice de atendimento no perímetro urbano com coleta de esgoto era de 59,7%; dessa parcela de esgoto coletado, apenas 74,9% passou por algum tipo de tratamento.

Segundo Santana (2003), a ausência ou ineficiência dos serviços públicos de saneamento, sobretudo de esgotamento sanitário na zona urbana ou rural exige a implantação de algum meio de disposição final dos esgotos, a fim de se evitar a contaminação do solo e da água, que uma vez ocorrendo pode ocasionar em prejuízos presentes e futuros.

O aumento da degradação ambiental e a perda da qualidade de água ao longo do Rio Jaguaribe dão-se principalmente devido ao mau uso e ocupação do solo na área de sua bacia hidrográfica. A ocupação das margens da Bacia do Rio Jaguaribe iniciou-se por volta dos anos 1970 com o crescimento urbano da cidade de João Pessoa, esse crescimento desordenado em

decorrência da falta de planejamento urbano ocasionou fortes impactos ambientais ao rio (SALES, 2018).

A ausência parcial ou total de um sistema de saneamento básico que possa atender às mais de 30 comunidades adensadas ao longo do rio faz com que a situação se agrave ainda mais, interferindo na qualidade de água e no bem-estar da população (REIS, 2016). O lançamento de efluentes domésticos, contendo nutrientes e coliformes fecais diretamente nos rios urbanos é uma prática corriqueira em comunidades subnormais ou bastantes adensadas, e acarreta em diversos impactos aos corpos receptores, como a eutrofização, que provoca diminuição no oxigênio disponível, aumento excessivo de plantas aquáticas, principalmente flutuantes e mudanças significativas na biota aquática. (ESTEVES, MEIRELLES-PEREIRA, 2011).

Quando não se dá um tratamento adequado aos resíduos humanos, principalmente nos aglomerados urbanos, há a necessidade de reparar os danos ambientais, de modo a amenizar as condições de estresse do ambiente, com o intuito de reunir técnicas eficientes e economicamente viáveis (ABBAS, 2003; SILVEIRA; SPAREMBERGER, 2004).

Técnicas de biorremediação vêm sendo aplicadas a fim de melhorar os ambientes degradados e poluídos, são técnicas de baixo custo e com forte potencial restaurador, e que proporcionam melhores condições ao ambiente aquático (MARINHO, 2018). A fitorremediação, técnica que utiliza as plantas para absorverem os nutrientes ou poluentes dos ambientes aquáticos vem sendo bastante estudada. Atrelada também a esse sistema biorremediador tem-se o uso do biofilme, que segundo pesquisas realizadas pelo Laboratório (CRISPIM et. al., 2009; SOUZA, 2015; PÉREZ (2015); MARINHO, 2018) tem-se mostrado bastante eficiente na recuperação de ambientes aquáticos degradados e ricos em nutrientes; de acordo com Crispim et al. (2019), o processo de biotratamento por perifíton visa aumentar a capacidade de autodepuração que os rios já apresentam.

Segundo Battin (2003), o perifíton é um importante aliado na regulação da dinâmica dos nutrientes nos ecossistemas aquáticos, devido à sua capacidade em absorvê-los e melhorar a qualidade da água. Além disso, o perifíton atua na produção primária e serve como fonte de alimento, tendo ainda a capacidade de diminuir a carga de nutrientes de ambientes aquáticos degradados.

Desta forma, diante da problemática evidenciada e sabendo-se do forte potencial biorremediador do perifíton e da necessidade de melhorar a qualidade de água dos rios urbanos e tornar esses ambientes menos poluídos, o presente trabalho buscou avaliar o uso do

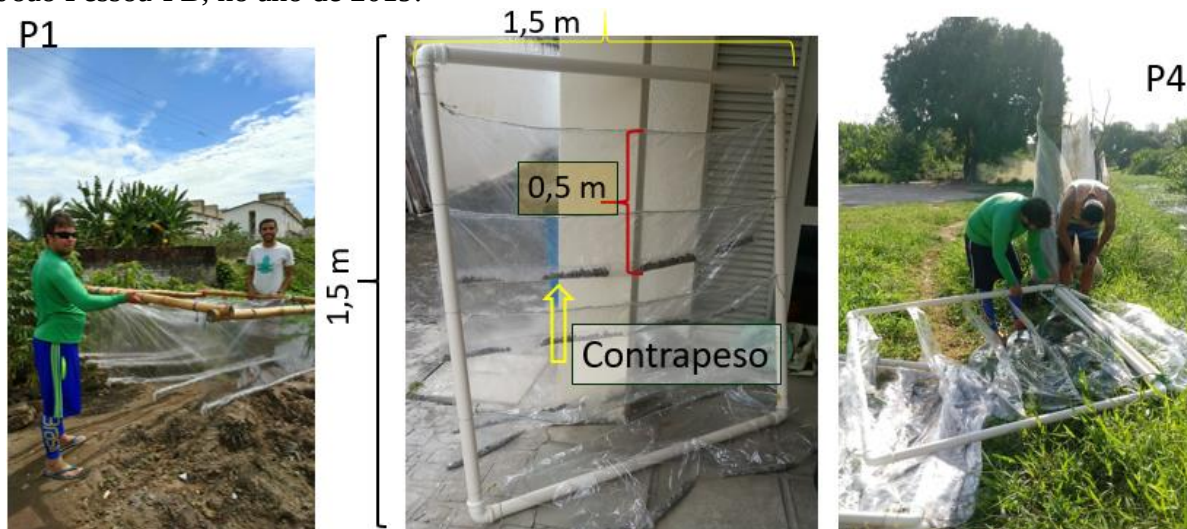
biotratamento, incluindo macrófitas e biofilme no melhoramento da qualidade de água do Rio Jaguaribe, testando a hipótese de que o sistema de biotratamento com o biofilme será uma ferramenta eficiente na gestão do Rio Jaguaribe no sentido de melhorar as condições ambientais. Para isso, o objetivo da pesquisa foi avaliar a eficácia do biotratamento no melhoramento da qualidade de água do Rio Jaguaribe, em João Pessoa – PB.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Sistema de biorremediação (biotratamento)

Para o sistema de biorremediação por perifíton, foram construídos os módulos de Biotratamento. Cada módulo media 150 cm x 150 cm, a fim de funcionar como flutuadores/delimitadores e manter a estrutura fixa no ambiente. Cada quadrado flutuador continha cinco “cortinas” de plástico cristal (de 0,15mm) em formato retangular e fixas a uma distância de 30 cm entre elas, amarradas em cordões de seda de 8mm. Cada cortina plástica possuía dimensões de 1,5 m x 0,5 m (largura x profundidade), equivalente a uma área de substrato de 0,75 m² para somente um lado da cortina ou 1,5 m², considerando os dois lados da cortina de plástico (totalizando para cada módulo uma área de 7,5 m² para adesão do perifíton), como mostrado na Figura 2.1.

Figura 2.1. Material e dimensões dos módulos de biorremediação utilizado no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, no ano de 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O plástico serve como substrato para a colonização e desenvolvimento do biofilme, adaptando-se à metodologia de Crispim et al. (2019). Essa estrutura foi deixada no Rio Jaguaribe durante o período do experimento (para o P1, entre os meses de fevereiro a maio de 2019, durante o período chuvoso e para os P3 e P4, de setembro a novembro de 2019, período de estiagem), foram feitas amostragens de água a fim de verificar a eficiência do perifíton como uma comunidade biorremediadora.

2.2.2. Coleta de dados

Para a realização do experimento, com a implantação de módulos de Biorremediação (biotratamento) por perifíton no rio Jaguaribe, foram escolhidos três pontos: P1, na Comunidade do Jardim Guaíbas (bairro Oitizeiro); P3, na Comunidade São Rafael (bairro Castelo Branco) e; P4, no bairro Miramar, na Comunidade Tito Silva.

A escolha desses locais foi devido a maior facilidade em transportar e implantar os módulos de biotratamento, além de serem locais com a profundidade adequada e sem impedimentos para que houvesse boa iluminação solar na água do rio Jaguaribe localmente. Além disso, também se contava com uma comunidade ou pessoas que poderiam ser parceiras em manter os módulos no local para que houvesse condições necessárias para o desenvolvimento do perifíton.

Nesses locais, foram realizadas as amostragens de água a montante e a jusante dos módulos, para avaliar a sua eficácia, a uma distância de 10 m dos módulos.

Com relação ao experimento com a biorremediação (biotratamento) por perifíton, antes da implantação dos módulos foram realizadas duas reuniões nas respectivas sedes das associações de moradores da Comunidade São Rafael (P3) e na Comunidade Tito Silva (P4) para explicar o que estava sendo realizado e solicitar a sua participação através de vigilância. A partir disso, firmaram-se parcerias com os ribeirinhos para a implantação, vigilância, divulgação e manutenção desses módulos instalados no rio.

Esse procedimento, entretanto, não foi possível realizar no P1, visto que a associação dos moradores do Jardim Guaíbas não estava em funcionamento; e no condomínio do Vale das Palmeiras, na margem direita do rio, era difícil o contato. Porém, não houve dificuldades em implantar, monitorar e realizar a manutenção dos módulos de biotratamento nesta localidade, visto que não houve interferência negativa por parte dos moradores locais, já que um morador

local bastante respeitado se disponibilizou a dar todo o suporte de vigilância e manutenção, além de informar aos vizinhos e curiosos do que se tratava o experimento.

No P1, foram instalados nove módulos de Biorremediação ($67,5 \text{ m}^2$ de área) no período de chuvas, entre os meses de fevereiro a maio de 2019. Para esta finalidade, como não houve uma conversa inicial com a comunidade local, preferiu-se utilizar módulos cujos quadrados flutuantes eram confeccionados de varas de Bambus, para não ter nenhum risco de sua retirada e comprometer a experiência. Infelizmente, pelas alterações ocorridas no rio Jaguaribe (construção da estação elevatória da CAGEPA, assoreamento local e aproveitamento deste como local para a agricultura de várzea, além da dominância de gramíneas e macrófita aquáticas) impediu-se a continuação do experimento no P1.

A Figura 2.2 mostra a localização dos experimentos com Biorremediação no município de João Pessoa, enquanto que a Figura 2.3 mostra a disposição dos experimentos no Rio Jaguaribe nas intermediações das comunidades ribeirinhas.

O P1 localiza-se a 500 m da nascente do rio, em um trecho estreito sem presença da mata ciliar, com margens bastante adensadas e com plantio de algumas culturas e criação de animais (incluindo porcos), observa-se a entrada de esgotos advindos de um conjunto habitacional do Vale das Palmeiras e do bairro Oitizeiro (e do Jardim Guaíbas).

Nos Pontos 3 e 4, os módulos de biotratamento foram instalados no período de estiagem de 2019, em setembro. Esses experimentos não foram possíveis de realizar no período de chuva, devido às enchentes e/ou inundações que ocorrem nos P3 e P4, sendo um transtorno para as comunidades ribeirinhas locais, além de não haver acesso seguro.

O P3 localiza-se na saída do Rio Jaguaribe da Mata do Buraquinho e entrando na Comunidade São Rafael, no local que os próprios moradores chamam de “Baiúca”. Em cem metros a jusante da ponte sob a Av. Pedro II, começa novamente o lançamento de esgotos advindos dos bairros do entorno do rio. Este local sofre intervenção periódica da dragagem, realizada pela defesa civil do município de João Pessoa.

Nesse ponto, foram implantados oito módulos de Biotratamento (60 m^2 de área), com flutuadores quadrados de cano PVC, dispostos logo após o despejo de efluentes advindos das canalizações do Bairro do Castelo Branco, e também das valas de esgoto da própria comunidade.

Figura 2.2. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe, João Pessoa – PB, onde foram instalados os módulos de Biorremediação por perifíton. As setas vermelhas indicam os locais onde foram realizados os experimentos.

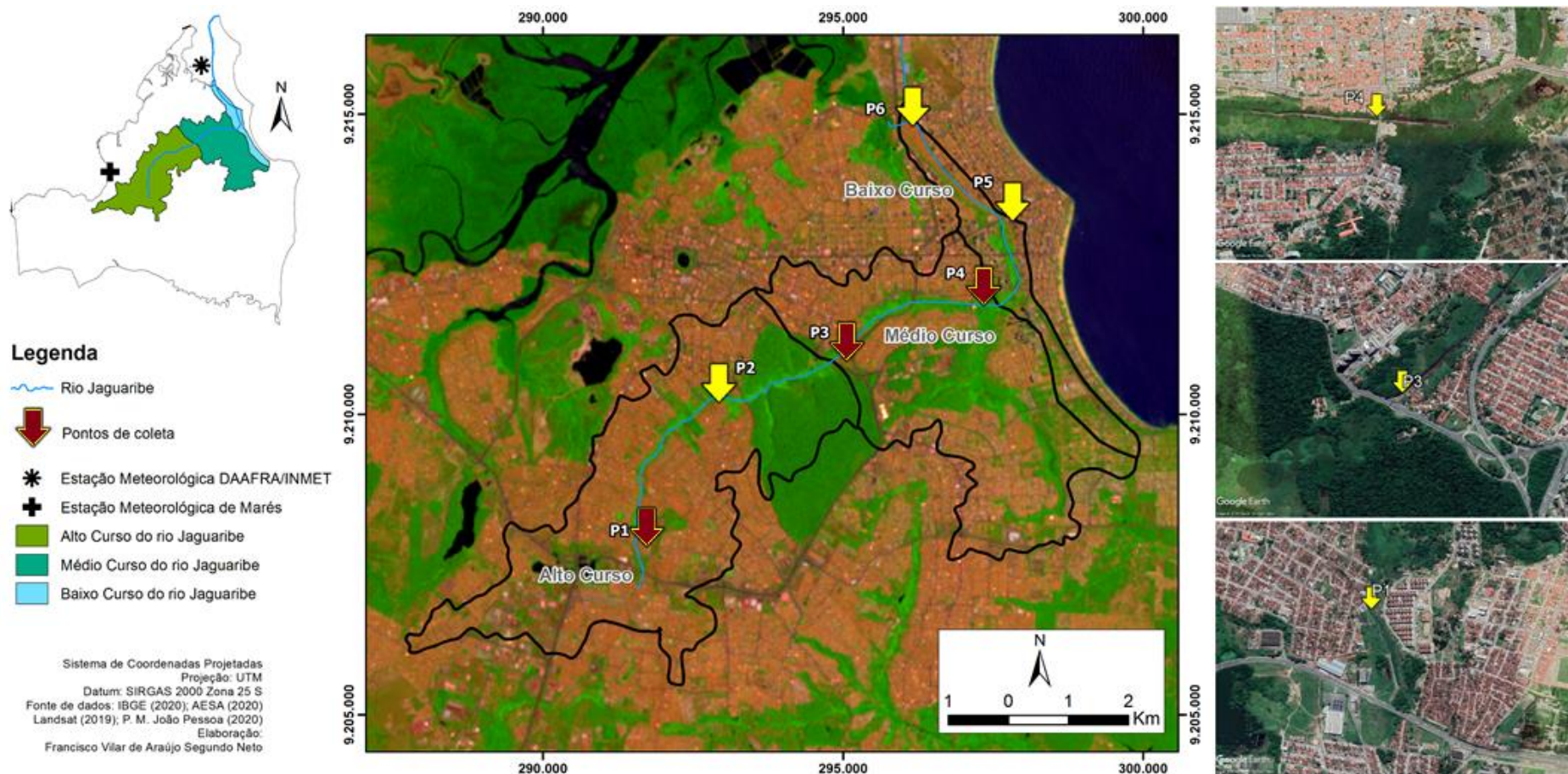
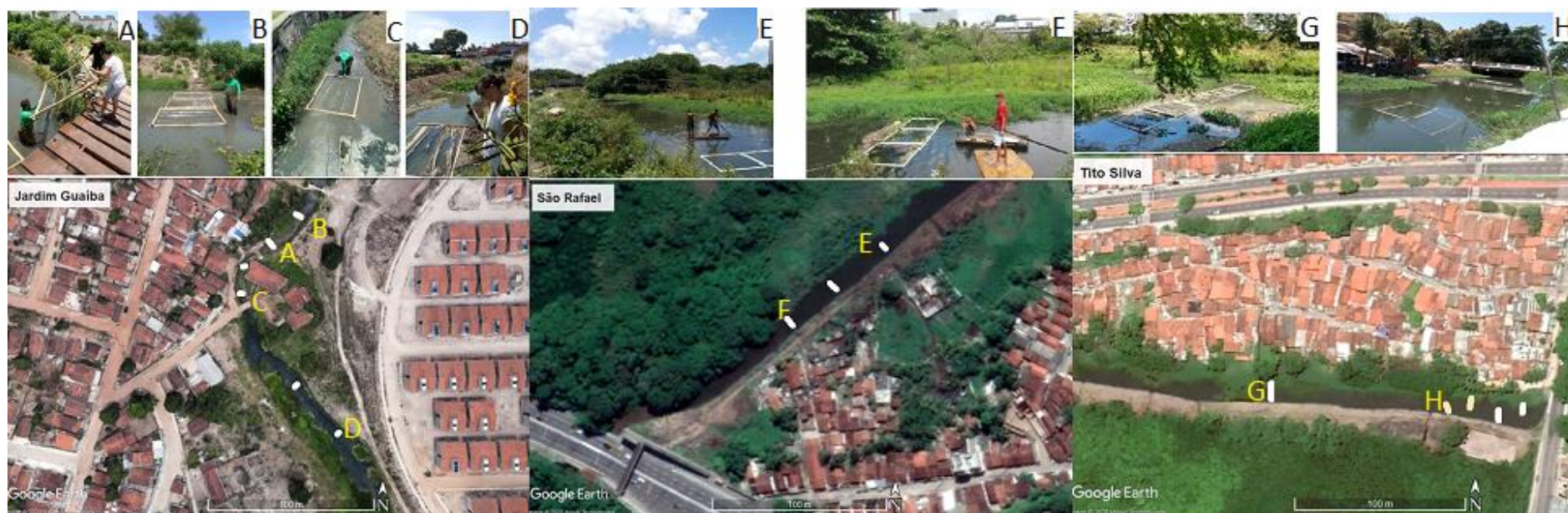


Figura 2.3. Instalação dos módulos de Biorremediação (biotratamento) por perifíton no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, nas comunidades Jardim Guaíbas (P1), entre os meses de fevereiro a maio de 2019 e na São Rafael (P3) e Tito Silva (P4) entre os meses de setembro a novembro de 2019. As letras destacadas indicam a posição da implantação dos módulos durante o registro fotográfico.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

No P4, foram instalados 17 módulos de Biorremediação (127,5 m² de área) no trecho do rio que passa pela Comunidade Tito Silva: seis módulos de Cano PVC de 50 mm, dispostos em duas fileiras de 3 quadrados e seis módulos de bambus, também dispostos em duas fileiras de 3 quadrados; todos dispostos próximos à ponte que liga os bairros do Miramar com o Castelo Branco, a 500 m do encontro com o afluente Rio Timbó, enquanto que uma outra fileira com 5 módulos de PVC foi instalada por trás da associação dos moradores da Tito Silva – CEIFA.

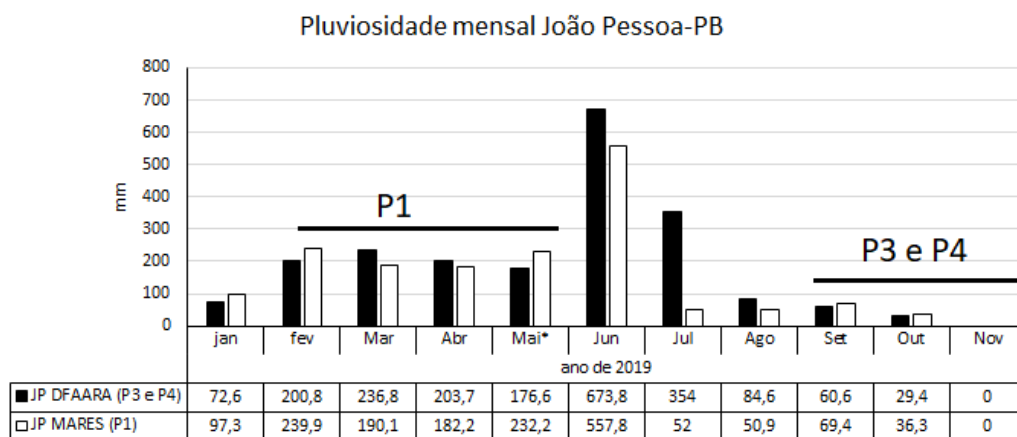
Nessa comunidade, há, periodicamente intervenção de dragagem por parte da defesa civil do município, cujo sedimento escavado está depositado na margem direita do rio.

2.2.3. Precipitação pluviométrica

Os dados pluviométricos do município de João Pessoa foram obtidos no Site da AESA <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>> sendo levado em consideração as estações meteorológicas de Marés (UTM 289211 m E, 9208556 m S), que é de responsabilidade da AESA, para o P1 e do DAAARA/ INMET (UTM 295836.86 m E; 9215299.53 m S) para os P3 e P4.

Em relação à pluviosidade de João Pessoa no ano de 2019 (Figura 2.4), constatou-se, nos dados da estação meteorológica de Marés, que do mês de fevereiro ao de maio (período de chuvas), houve um acumulado de 844,4 mm de chuva, o que corresponde ao período de experimento do P1. Neste período, o maior volume de chuva foi registrado no mês de fevereiro, com 239,9 mm de precipitação, enquanto que o mês menos chuvoso foi abril, com 182,2 mm.

Figura 2.4. Índice pluviométrico do município de João Pessoa-PB, com os dados das Estações meteorológicas DAAARA/INMET e de Marés/AESA, entre os meses de janeiro a novembro de 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na estação meteorológica de DFAARA/INMET, correspondente ao experimento nos P3 e P4 de Biotratamento, o acumulado de setembro a novembro foi de 90 mm (período de estiagem). Entretanto, o mês mais chuvoso foi em setembro, com 60,6 mm e, em novembro, não houve precipitação pluviométrica.

2.2.4. Tratamento estatístico

Para testar as diferenças entre montante e jusante dos módulos de Biotratamento no rio, utilizou-se a GLS no modelo de Teste-t, cujos dados também foram logaritmizados para reduzir a variância. Utilizou-se o pacote *nlme*, função *gls*.

Para as variáveis ambientais que foram mais afetadas pelo biotratamento, realizaram-se a Análise de Componentes Principais (PCA), onde todas as variáveis (ambientais e biológicas) foram padronizadas antes da realização das análises. Foram utilizadas as funções *princomp* para as análises.

Por critério, tanto na PCA quanto na CCA, nos dois primeiros capítulos, analisaram-se as variâncias acumulativas das três primeiras dimensões (componente) para a explicabilidade sobre a sua influência. Porém, em seguida, escolhe-se somente os dois primeiros componentes para detectar os maiores autovalores, nas respectivas dimensões e comparar também com as respectivas dimensões da análise a importância da variável.

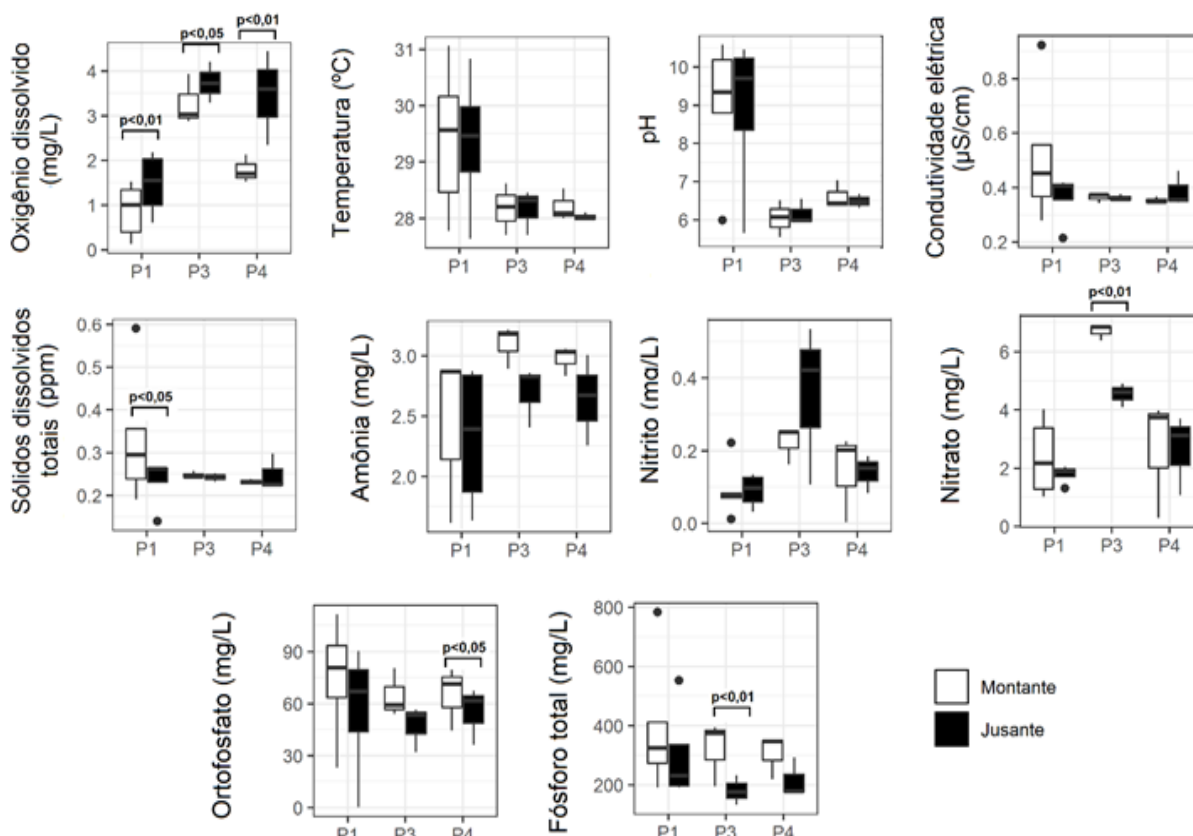
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao efeito da influência dos módulos de Biorremediação no rio Jaguaribe, verificam-se diferenças significativas para o oxigênio dissolvido (OD) em todos os trechos em que foram implantados (Tabela 2.1); sendo os valores mais elevados a jusante das estruturas, demonstrando o efeito do perifíton no aumento deste gás, tão importante para o ecossistema aquático (Figura 2.5). As algas perifíticas realizam fotossíntese, ocasionando a liberação de mais oxigênio para ser dissolvido na água.

Como as microalgas presentes no biofilme realizam a fotossíntese, liberam oxigênio na água; isso é muito importante na mudança da dinâmica do ecossistema, tanto para a biota que terá mais oxigênio, por serem seres aeróbios, como para as reações químicas, que com maior presença de oxigênio no meio aquático são favorecidas, como o processo de nitrificação e o

fósforo se une ao oxigênio, formando fosfato ferroso, que é insolúvel e precipita no sedimento, prevenindo a eutrofização (ESTEVES; PANOSSO, 2011).

Figura 2.5. Média dos parâmetros a Montante e a Jusante dos módulos de Biorremediação por perifíton em três pontos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, em 2019. P1 em Oitizeiro, de fevereiro a maio; P3 na São Rafael e P4 na Tito Silva, de setembro a novembro. Os testes foram significativos nos pontos onde apresentam o valor da porcentagem “p”.



Fonte: Dados da pesquisa.

Aumentos na oxigenação também foram registrados por Marinho (2018) após a instalação do sistema de biofilme no rio Cabelo, um rio urbano de pequeno porte de João Pessoa-PB.

Vieira (2018) registrou também aumento gradativo das concentrações de OD em viveiros de piscicultura nos açudes do rio Paraíba, no Cariri paraibano, após a instalação do biofilme.

Souza (2015) também verificou que o aumento na oxigenação no mesocosmos com águas de lagoas de tratamento de esgoto foi devido ao efeito direto da instalação do biofilme em João Pessoa-PB.

Tabela 2.1. Teste t para avaliação do efeito da biorremediação com biofilme em trechos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, no ano de 2019, a montante e a jusante dos módulos de biorremediação no P1 (entre os meses de fevereiro a maio) e no P3 e P4 (entre os meses de setembro a novembro).

PONTO	Variável	F	P
P1	OD	16.80	<0.01
	Temperatura	0.00	0.958
	pH	2.81	0.137
	CE	5.09	0.058
	TSD	6.03	0.043
	NH3	1.17	0.314
	NO2	5.26	0.055
	NO3	0.21	0.656
	PO4	1.53	0.255
	PT	1.61	0.244
PONTO	Variável	F	P
P3	OD	10.88	<0.05
	Temperatura	0.01	0.934
	pH	0.54	0.500
	CE	0.03	0.864
	TSD	2.74	0.172
	NH3	3.44	0.137
	NO2	0.62	0.474
	NO3	29.37	<0.01
	PO4	3.51	0.134
	PT	20.31	0.010
PONTO	Variável	F	P
P4	OD	39.05	<0.01
	Temperatura	1.00	0.368
	pH	1.04	0.365
	CE	1.30	0.316
	TSD	0.575	0.490
	NH3	1.83	0.244
	NO2	0.61	0.477
	NO3	0.546	0.500
	PO4	8.61	0.042
	PT	4.34	0.105

Fonte: Dados da Pesquisa.

Rauh (2015), estudando os efeitos do perifíton no cultivo da tilápia, comparando o desempenho zootécnico entre os diferentes tratamentos controle e com substrato, verificou que os tratamentos não apresentaram diferença estatística em níveis de amônia, nitrito, temperatura, transparência e pH, mas notou-se uma melhora significativa na disponibilidade de oxigênio dissolvido no tratamento com adição de substrato a partir da metade do experimento.

Os sólidos totais dissolvidos apresentaram diferença significativa apenas no P1, apresentando menores valores após passar pelo biotratamento. O resultado sugere que os módulos de Biotratamento alocados a montante, dentro e a jusante da canalização de alvenaria de 2,5 m de largura de uma margem a outra, existente no P1, influenciou este resultado.

O fósforo total também foi um composto que respondeu de forma positiva a biorremediação, apresentando valores significativamente menos elevados após passar pelo biofilme, mas apenas nos P3 e P4. O fósforo total é um dos principais compostos que causam o processo de eutrofização em ambientes aquáticos, podendo trazer sérios riscos ao ambiente quando em condições elevadas, como a diminuição da oxigenação no ambiente, a diminuição da biodiversidade, entre outros (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011). Dessa forma, conseguir reduzir este composto na água é de extrema importância em processos de restauração e o perifíton demonstrou ser adequado a este propósito.

Comportamento semelhante também foi observado por Marinho (2018) após a instalação do sistema BioMac (biofilme + macrófitas) no rio Cabelo, na capital paraibana, as concentrações de fósforo total também reduziram ao longo dos pontos analisados pelo autor.

Em estudo experimental realizado por Alves (2011), com a *Chlorella* sp. na remoção de nutrientes em escala laboratorial, houve remoção significativa de fósforo total, ortofosfato e Amônia, havendo acréscimo de nitrato em pequena quantidade, o que evidenciou o potencial do uso de microalgas, aderidas a um substrato, na remoção desses nutrientes, se caracterizando em uma forma natural de tratamento que não gera poluentes secundários.

Pesquisas como a de McCormick et al. (2006) também apontam o perifíton como um importante agente para a remoção de fósforo de ambientes eutrofizados. Balles e Jesus (2014), concluíram que, comparativamente com os estudos de remediação com macrófitas aquáticas, o perifíton apresentou resultados de remoção de fósforo superiores, mostrando-se promissor como biotecnologia de remediação ambiental.

O mesmo foi observado por Crispim et al. (2009), em um experimento em mesocosmos com água de um açude com piscicultura. Entretanto, Balles e Jesus (2014) alertaram que é importante notar que a diminuição de fósforo na coluna de água pode não estar ligada apenas à associação direta pelas plantas aquáticas e perifíton, mas também a outros fatores, como a precipitação de fosforados.

Resultados semelhantes foram obtidos em Crispim et al. (2019), estudando a biorremediação em dois rios eutrofizados, situados em regiões climáticas distintas: região tropical do Brasil, no Rio do Cabelo, urbano e na região mediterrânea no Rio Fervença, Portugal, as autoras concluíram que houve redução de compostos nitrogenados e fosfatados e aumento de oxigênio nos dois rios analisados, o que demonstra o potencial de melhoria na qualidade de água com o uso de biofilme como biorremediador.

Oliveira (2020), estudando o Rio do Cabelo, um rio urbano de pequeno porte em João Pessoa-PB, constatou que houve diferenças significativas, na comparação entre montante e a jusante das estruturas de biotratamento, para a variável oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade, fósforo total, ortofosfato, amônia, nitrito e nitrato, verificando-se que houve aumento da transparência da água a jusante do Biotratamento. Entretanto, no Rio Fervença, apesar de ter-se verificado uma diminuição nas concentrações dos nutrientes dissolvidos, estas não apresentaram diferenças significativas a montante e a jusante dos módulos.

A mesma autora (OLIVEIRA, 2020) também verificou que os macroinvertebrados predominantes, antes da implantação do Sistema Biofilme aquático juntamente com Macrófitas aquáticas (BIOMAC), foram da família Chironomidae e Glossiphonidae em maio e em julho de 2018, enquanto que os Chironomidae e Erpobdellidae em setembro e novembro de 2018, após a instalação BIOMAC, no qual o zoobentos diminuiu a densidade das Famílias indicadoras de poluição e aumentou as densidades de organismos presentes em ambientes menos poluídos.

Todas as outras variáveis analisadas no presente trabalho realizado no Rio Jaguaribe (temperatura, pH, amônia, nitrito, nitrato e ortofosfato) embora mostrassem que houve diferentes concentrações entre montante e jusante dos módulos de biotratamento, não apresentaram diferenças significativas no percurso em que se localizaram os módulos de substrato para o biofilme; porém visualmente, os pesquisadores percebiam o aumento de transparência da água a jusante dos módulos de biorremediação.

De acordo com Carvalho e Siqueira (2011), elevadas concentrações de amônia estão relacionadas com a composição proteica de matéria orgânica devido ao processo de decomposição. Assim, elevadas concentrações de amônia devem ser comuns em rios urbanos, que recebem uma grande carga de esgotos *in natura* e representa poluição recente por ser o processo final da decomposição e o inicial da nitrificação.

Vieira (2018) também observou a diminuição nas concentrações de amônia após a utilização do sistema biofilme em viveiros de tilapicultura. Marinho (2018) observou diminuição das concentrações de amônia no Rio do Cabelo após o uso do biotratamento. Já Sousa (2015) também registrou redução desse composto em efluentes de uma ETE, após o uso do sistema biorremediador.

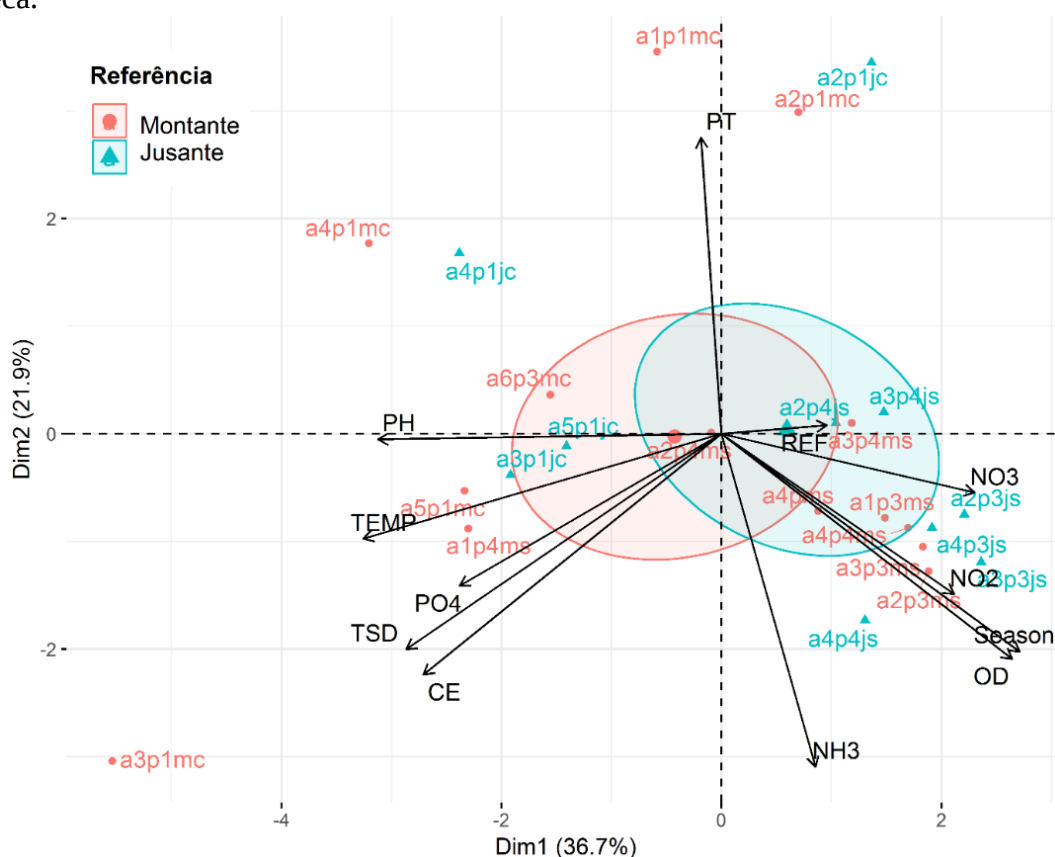
O nitrito foi o único composto que apresentou um ligeiro aumento nas concentrações a jusante do que a montante. Isso pode ser explicado, em função do aumento do oxigênio dissolvido, que favoreceu a oxidação da amônia, permitindo os processos de nitrificação, convertendo-a em nitrito a jusante das estruturas.

Apesar de ser detectada uma pequena diferença nas concentrações de nitrato nos pontos P1 e P3, no ponto P4 esta espécie química aumentou, em consequência dos grandes bancos de macrófitas que se desenvolvem neste local. A presença destas plantas aumenta a decomposição, liberando mais amônia para o ambiente. Isso foi verificado também por Pérez (2015) que ao analisar o efeito de um banco de macrófitas completamente fechado e aberto no Rio do Cabelo, concluiu que quando completamente fechado o banco de macrófitas contribuiu mais para o aporte de nutrientes, que com a sua redução.

Porém, estudos realizados por Mariñelarena e Di Giorgi (2001), em riachos e lagunas de Buenos Aires, na Argentina, sugeriram que os níveis de luz, temperatura e pH no ambiente seminatural de estufa surtiram pouco efeito sobre a absorção de nutrientes pelo perifíton.

A respeito da Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis ambientais, houve distinção entre as variáveis a montante e a jusante dos módulos de Biotratamento (Figura 2.6).

Figura 2.6. Resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) a montante e a jusante aos módulos de Biorremediação por perifíton no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, em 2019: a = amostragem; p = ponto de coleta; m = montante ao módulo; j = jusante ao módulo; c = chuva; s = seca.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Os três primeiros componentes (dimensões), como pode ser consultado na Tabela 2.1, explicam 72,24% da variância, sendo que no componente 1, que explicou 36,75%, a Temperatura, o pH, o Total de Sólidos Dissolvidos e a Condutividade Elétrica foram os que mais influenciaram a variância, enquanto que no componente 2, que explicou 21,89% da variância, a Amônia, o Fósforo Total e Condutividade Elétrica foram influenciadores.

Tabela 2.2. Autovalores e explicabilidade das dimensões (A) e Importância dos componentes (B) da PCA.

A				B			
	Autovalor	% de Variância	%Cumulativa		Dim1	Dim2	Dim3
Dim1	4.41	36.75	36.75	OD	10.4	10.9	1.3
Dim2	2.63	21.89	58.64	TEMP	15.8	2.4	1.6
Dim3	1.63	13.61	72.24	PH	14.5	0.0	8.6
Dim4	0.81	6.78	79.02	CE	10.9	12.5	0.0
Dim5	0.73	6.12	85.13	TSD	12.2	10.0	2.0
Dim6	0.66	5.50	90.63	NH3	1.1	23.9	3.4
Dim7	0.47	3.91	94.55	NO2	6.6	5.5	0.6
Dim8	0.25	2.12	96.66	NO3	7.8	0.7	5.8
Dim9	0.25	2.05	98.71	PO4	8.4	5.0	11.9
Dim10	0.10	0.84	99.55	PT	0.1	18.9	20.4
Dim11	0.04	0.35	99.91				
Dim12	0.01	0.09	100.00				

Fonte: Dados da Pesquisa.

Verificou-se, assim, que as variáveis ortofosfato, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos estava mais elevadas a montante dos módulos, que podem indicar locais impactados, enquanto que a jusante verificou-se relação com variáveis indicadoras de melhor qualidade, como o oxigênio dissolvido, nitrato e nitrito que são derivações da amônia, e dependem do oxigênio para isso, no entanto as concentrações de amônia, também estavam neste quadrante, mas com uma interação mais fraca, por estar mais perto do eixo 0.

A PCA com a caracterização ambiental antes e após passagem pelo biotratamento também demonstrou eficácia no uso do perifíton como biorremediador.

2.4. CONCLUSÃO

Constatou-se que o sistema de biorremediação por perifíton foi eficiente na melhora da qualidade da água, com o aumento significativo de oxigênio dissolvido a jusante dos módulos nos três locais de experiência. Além disso, houve diminuição de condutividade elétrica, sólidos

totais dissolvidos. Dessa forma, diminuiu a concentração da amônia a jusante dos módulos e houve facilitação para a nitrificação, além da diminuição de ortofosfato e do fósforo total.

Após a instalação do biotratamento foi possível observar a presença de pequenos peixes e outros animais, como cágados, nas áreas adjacentes às estruturas, evidenciando que o biofilme, além de ciclar os nutrientes do ambiente, serve também de alimento e habitat para outros animais. É possível que o aumento de oxigênio dissolvido tenha favorecido estes animais.

Apesar de o biotratamento ter exercido melhorias significativas em alguns dos parâmetros analisados é necessário que outras medidas de controle de poluição sejam tomadas, a fim de garantir reais condições de reestruturação desse ambiente. É notório o descaso frente aos esgotos e resíduos que são lançados ou encaminhados diretamente ao rio sem tratamento algum.

O biotratamento mostrou bons resultados a nível local onde foi instalado, mas tendo em vista a grande extensão que o rio possui, esses efeitos acabam sendo diluídos diante das elevadas cargas de esgotos que o rio recebe ao longo do seu trajeto; assim a ampliação dessas estruturas ao longo de todo o rio proporcionaria uma alteração por completo ao mesmo, melhorando a qualidade de água e permitindo a prestação de alguns serviços ecossistêmicos atualmente perdidos, como a pesca e uso da água do rio pelos ribeirinhos.

Dessa forma, a hipótese de pesquisa de que o biotratamento por perifíton seria eficaz na melhora da qualidade da água foi aceita.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, M. Z. M.; **A biorremediação como ferramenta para a minimização de problemas ambientais**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2003.
- ALVES, L. D. S. **Aplicação de algas imobilizadas na remoção de nutrientes de efluente sanitário**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, 42f., 2011.
- BALLE, M.G.; JESUS, T.A.. **Avaliação da taxa de acumulação de fósforo total por biofilme perifítico com vistas ao desenvolvimento de biotecnologia de remediação ambiental**. X ENAU - Encontro Nacional de Águas Urbanas, São Paulo, setembro de 2014.
- BATTIN, T.J.; KAPLAN, L.A.; NEWBOLD, J.D.; HANSEN, C.M.E. **Contributions of microbial biofilms to ecosystem processes in stream mesocosms**. Nature, 426: 439-442. 2003.

BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, Antônio José Teixeira (organizador). **Geomorfologia Urbana**. p. 74, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. **Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG)**. Rev. Ambient. Água, 9(1): 130 – 148, 2014.

CARVALHO, L. C.; SIQUEIRA, E. Q.; **Qualidade da água do rio meia ponte no perímetro urbano do município de Goiânia-Goiás**. Reec-revista eletrônica de engenharia civil, Goiania-GO, 1(2): 19-33, jul. 2011.

CRISPIM, M. C.; VIEIRA, A. C. B.; COELHO, S. F. M.; MEDEIROS, A. M. A. **Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming**. Acta Limnol. Bras., 21(4): 387-391, 2009.

CRISPIM, M. C.; ANTÃO-GERALDES, A. M.; OLIVEIRA, F. M. F.; MARINHO, R. S.; MORAIS, M. M... **Potencialidades da Implementação de Biorremediação na Reabilitação de rios: Dados Iniciais e Considerações**, p278 a 295, in: ROQUE, A. C.; PAULA, D. P.; DIAS, J. A.; FONSECA, L. C.; RODRIGUES, M. A. C.; ALBUQUERQUE, M. G.; PEREIRA, S. D.. Saindo da zona de conforto: a interdisciplinaridade das zonas costeiras, Rio de Janeiro: FGEL-UERJ (Rede BRASPOR; tomo VIII), 543 p, 2019.

ESTEVES, F.A.; MEIRELLES-PEREIRA, F.. Eutrofização Artificial, 625 a 655pp. In: ESTEVES, F.A.. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.

ESTEVES, F. A.; PANOSSO, R.. Fósforo, 259 a 281pp. In: ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p., 2011.

MARIÑELARENA, A.J.; DI GIORGI, H.D.. **Nitrogen and Phosphorus Removal by Periphyton from Agricultural Wastes in Artificial Streams**. Journal of Freshwater Ecology, 16(3): 347-353. 2001.

MARINHO, R. S. A. **Biorremediação para o Melhoramento da Qualidade da Água em Rios Urbanos em João Pessoa – PB: efeitos na ictiofauna**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.

MCCORMICK, P.V., SHUFORD III, R.B.E., CHIMNEY, M.J. **Periphyton as a potential phosphorus sink in the Everglades Nutrient Removal Project**. Ecological Engineering, Volume 27(4): 279-289. 2006.

OLIVEIRA, F. M. F. **Restauração de ecossistemas aquáticos a partir da biorremediação**. Tese de doutorado apresentada à Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa-PB, 230f., 2020.

PÉREZ, J. M. **Biofilme e macrófitas como ferramenta de recuperação em ecossistemas aquáticos e tratamento de esgotos**. Universidade Federal da Paraíba, UFPB. (Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), 2015.

RAUH, G. **Crescimento da Tilápia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758) e qualidade da água: efeito do perifíton**. Trabalho de conclusão apresentado ao curso de graduação de Engenharia de Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2015.

REIS, A. L. Q.. **Índice De Sustentabilidade Em Uma Bacia Ambiental: Uma Abordagem Para A Gestão E Planejamento Da Conservação E Preservação Dos Rios Urbanos De João Pessoa (PB)**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em

Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba, 260p, 2016.

SALES, W. A. **Degradação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe, João Pessoa – PB**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, 2018.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de bacias Hidrográficas**. Documentos EMBRAPA. Sete. SILVA, M. B. R.; AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. Análise da degradação ambiental no alto curso da bacia hidrográfica do rio paraíba. Bol. Goia. Geogr. (Online), 34(1): 35-53, 2003.

SCHAFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985.

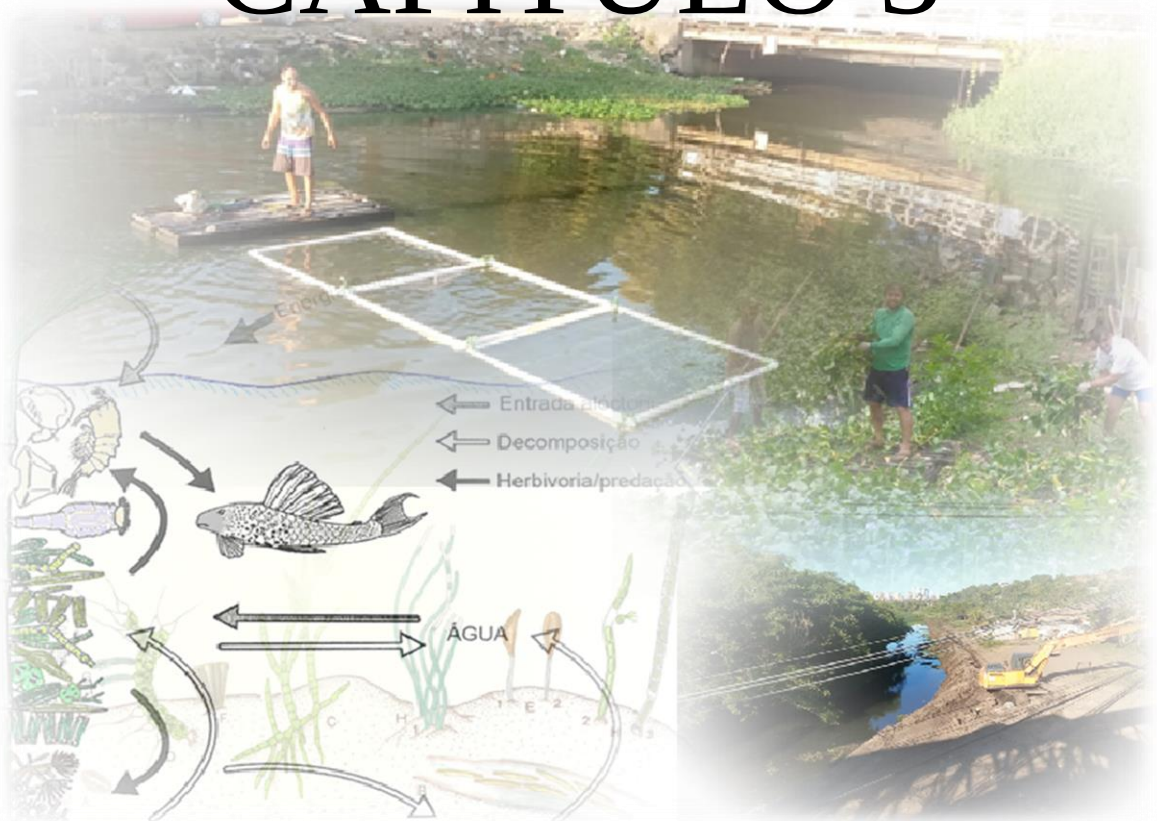
SILVEIRA, A.C; SPAREMBERGER, R. F. **A relação homem e meio ambiente e a reparação do dano ambiental: reflexões sobre a crise ambiental e a teoria do risco na sociedade**. Dissertação de Mestrado em Direito Ambiental, da Universidade de Caxias do Sul – UCS, 2004.

SOUSA, C. E. **Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2015.

VIEIRA, D. M. **Aquicultura Familiar: Contribuições para a Sustentabilidade**. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.

UNITED NATIONS CHILDREN’S FUND (UNICEF) and WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities**. Printed in New York, USA, 2019.

CAPÍTULO 3



**PERCEPÇÃO DOS RIBEIRINHOS SOBRE O RIO
JAGUARIBE E O BIOTRATAMENTO POR
PERIFÍTON**

PERCEPÇÃO DOS RIBEIRINHOS SOBRE O RIO JAGUARIBE E O BIOTRATAMENTO POR PERIFÍTON

RESUMO

Visando contribuir com a recuperação do Rio Jaguaribe, empregou-se o Biotratamento, que utiliza o perifíton para remediar a poluição ambiental, principalmente para melhorar a oxigenação da coluna de água, reduzir a produção de gases que ocasionam os maus odores, utilizando o biofilme como remediador, como forma alternativa e de baixo custo para o tratamento de água do Rio Jaguaribe, procurando beneficiar as comunidades ribeirinhas Tito Silva e São Rafael, que, direta e/ou indiretamente, convivem e fazem uso da água. Logo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a percepção dos moradores de duas comunidades ribeirinhas antes e após o Biotratamento por perifíton. A partir de 15 dias, houve, de forma perceptível, a adesão do perifíton nos plásticos. Para obter a percepção dos moradores sobre o impacto no Rio Jaguaribe antes e após a intervenção com os módulos de Biotratamento por perifíton, foram realizadas visitas e aplicados questionários, a partir da segunda semana, para questionar os moradores sobre o que mudou com essa intervenção. O principal impacto relatado pelos moradores entrevistados foi a poluição proveniente por esgotos advindos do crescimento desordenado das comunidades e dos empreendimentos nos bairros vizinhos. Todos os entrevistados falaram da importância da dragagem na retirada dos aguapés e do lixo para o escoamento da água do rio, para evitar enchentes e retenção de lixo. A respeito do Biotratamento, em pouco mais de um mês, de acordo com a percepção da população que convive diretamente com o Rio Jaguaribe, mostrou-se eficaz para a redução de gases odoríferos produzidos, diminuindo o mau cheiro. Foi relatado por 73% dos moradores da São Rafael e 90% na Tito Silva, um resultado significativo no tratamento utilizado. Houve o aumento da transparência da água a jusante dos módulos de Biotratamento, percebido por mais de 90% dos entrevistados de ambas as comunidades, e o aparecimento de mais peixes e outros animais, como aves. Foi constatada uma diferença significativa entre a nota atribuída ao Rio Jaguaribe, antes e após a intervenção dos módulos de Biotratamento, obtendo-se 100% de aprovação da eficiência da Biorremediação por perifíton no local por parte dos entrevistados, mesmo em pouco tempo de experimento.

Palavras-chaves: Biorremediação, Biofilme aquático, percepção, rio urbano.

ABSTRACT

PERCEPTION OF THE RIPARIAN RESIDENTS ABOUT THE JAGUARIBE RIVER AND PERIPHYTON BIOTREATMENT

In order to contribute to the recovery of the Jaguaribe River, Biotreatment was used, which uses the periphyton to decrease environmental pollution, mainly to improve the oxygenation of the water column, reduce the production of gases that cause bad odors, using biofilm as remediation, as an alternative at low cost for the water treatment of the Jaguaribe River, seeking to benefit the riverside communities Tito Silva and São Rafael, who directly and/or indirectly coexist and make use of the water. Therefore, the objective of this work was to evaluate the perception of the residents of two riverside communities before and after Biotreatment by periphyton. After 15 days, there was a noticeable adhesion of the periphyton to plastics. In order to obtain the residents' perception of the impact on the Jaguaribe River before and after the intervention with the Periphyton Biotreatment modules, visits and questionnaires were applied, starting in the second week, to question the residents about what has changed with this intervention. The main impact reported by the interviewed residents was the pollution from sewage caused by the disorderly growth of communities and businesses in neighboring neighborhoods. All respondents spoke of the importance of dredging in the removal of water hyacinth and garbage to drain river water, to prevent flooding and garbage retention. Regarding Biotreatment, in just over a month, according to the perception of the population that lives directly with the Jaguaribe River, it proved to be effective in reducing the odorous gases produced, reducing the bad smell. It was reported by 73% of São Rafael residents and 90% in Tito Silva, a significant result in the treatment used. There was an increase in the transparency of the water downstream of the Biotreatment modules, perceived by more than 90% of respondents from both communities, and the appearance of more fish and other animals, like birds. A significant difference was found between the score attributed to the Jaguaribe River, before and after the intervention of the Biotreatment modules, obtaining 100% approval of the efficiency of the Bioremediation by periphyton by location by the interviewees, even in a short time of experiment.

Keywords: Bioremediation, aquatic biofilm, perception, urban river. **Keywords:** Bioremediation, Aquatic biofilm, perception, urban river.

3.1. INTRODUÇÃO

Os rios urbanos, quase sempre se caracterizam como áreas de degradação ambiental, por serem rodeados pela urbanização, estando sujeitos a diversos tipos de impactos ambientais, tais como a alteração do curso natural do rio, a substituição da mata ciliar por aglomerados populares, assoreamento do rio, despejos de efluentes e resíduos, poluição da água, mudança no ecossistema local, perda de espécies de fauna e flora, e entre outras que vêm modificando a dinâmica natural do corpo hídrico.

De modo geral, as consequências sofridas pela intervenção humana nos rios urbanos são diversas e trazem sérias consequências não somente para o corpo hídrico, mas também para a população do entorno, pois são grandes as possibilidades de inundações, enchentes e alagamentos (SMITH; SILVA; BIAGIONE, 2019; ARAÚJO et al., 2019), podendo levar à perda de bens, acidentes e até mesmo a mortes. Caso haja uma grande carga poluidora no rio, há também possibilidade da disseminação de doenças (NUNES, 2012).

Um dos grandes problemas enfrentados pelos corpos hídricos localizados em áreas urbanizadas é a poluição hídrica. Por muitas vezes os rios tornam-se córregos de esgotos. Em muitas cidades brasileiras os efluentes domésticos e industriais são despejados de forma irregular nos rios, bem como resíduos sólidos de todos os tipos (ALMEIDA, 2010). Essa situação apresenta problemas para os ecossistemas locais, alterando as características naturais dos corpos hídricos, levando a processos de eutrofização e contaminação da água, transformando-a como um recurso hídrico impróprio para consumo humano e sem utilizada para outros fins (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011).

O Rio Jaguaribe, por sua localização dentro da cidade de João Pessoa-PB, encontra-se comprometido em virtude do despejo de efluentes domésticos e industriais, elevada carga de resíduos, devastação da cobertura vegetal e expansão urbana (SANTOS et al., 2015; REIS et al., 2017).

Assim, buscar a percepção e a sensibilização ambiental dos ribeirinhos que utilizam, de forma direta, os recursos de um ambiente aquático, podem vir a contribuir para a prevenção da degradação, gestão e sustentabilidade dos recursos naturais a ela associadas (SOUZA; ABÍLIO; RUFFO, 2018b), pois é pela compreensão que se buscam soluções para reduzir a situação desordenada gerada pela falta de saneamento básico nos espaços, onde esses ribeirinhos são obrigados a sobreviver (ABÍLIO; FLORENTINO; RUFFO, 2018b; SOUZA, ABÍLIO, RUFFO, 2018a).

Faz-se necessário uma maior e mais firme interseção entre o conhecimento científico e o saber popular para que essas informações sejam bem assimiladas pelos ribeirinhos com o intuito dar continuidade a trabalhos futuros que abordem a questão da interação humanos *versus* natureza, como uma forma de conservá-la (SOUZA, ABÍLIO, RUFFO, 2018a).

Dessa forma, esta pesquisa visa entender a percepção dos ribeirinhos sobre as questões relacionadas com o Rio Jaguaribe antes e após a biorremediação. A pesquisa procurou testar as seguintes hipóteses i) os ribeirinhos não usam mais o rio; e ii) os ribeirinhos percebem mudanças positivas no rio durante o biotratamento.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Área de estudo

A ocupação das margens do Rio Jaguaribe já acontece desde a década de 1970, cujo Vale já possui cerca de 25 comunidades em toda a sua extensão (FIGUEIREDEO, 2017). Dentre essas comunidades, duas foram alvos do estudo de percepção sobre o Biotratamento: a São Rafael e a Tito Silva (Figura 3.1).

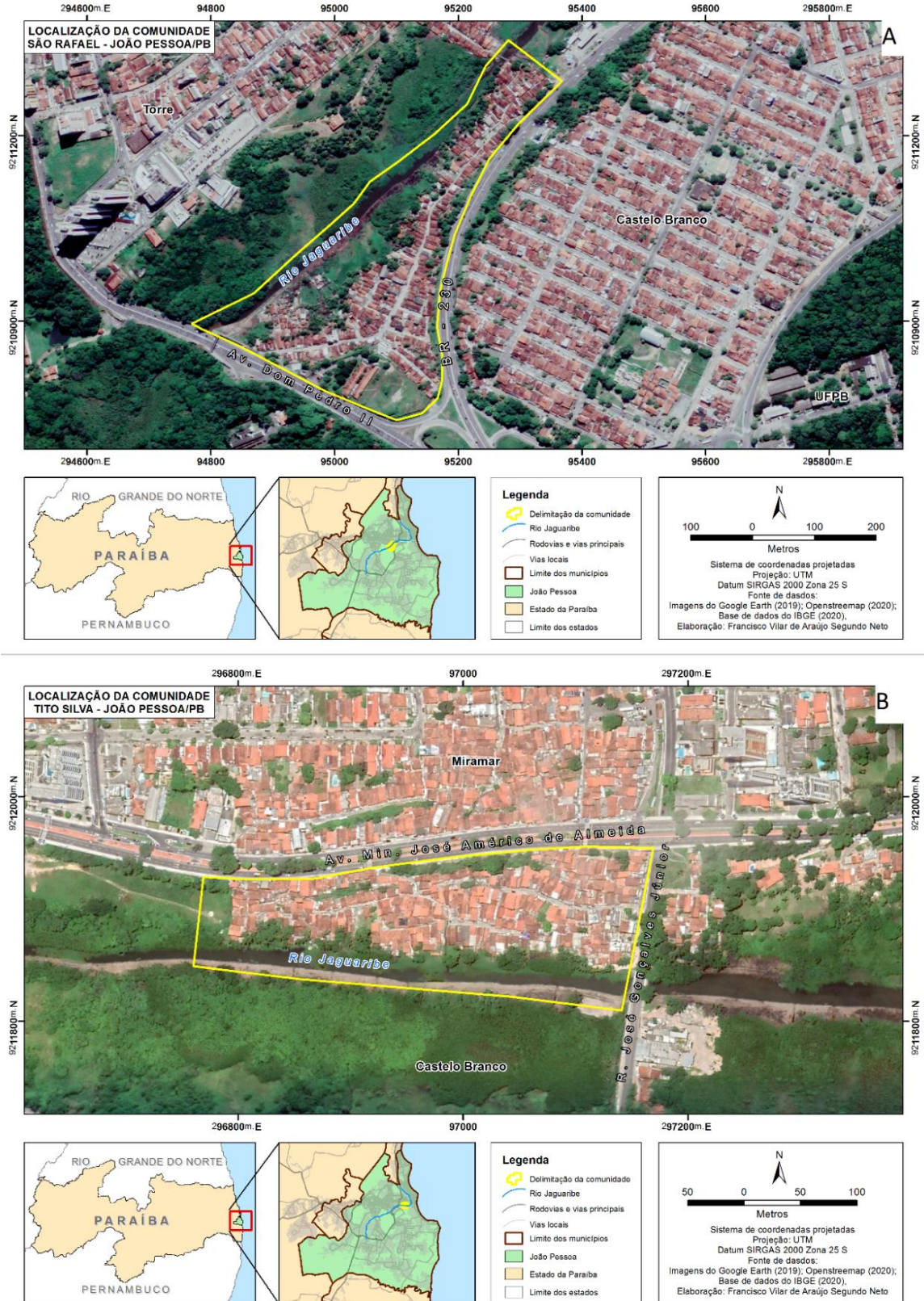
A Comunidade (aglomerado) São Rafael é uma comunidade ribeirinha que está situada no Bairro Castelo Branco, entre as margens do Rio Jaguaribe e a BR-230 (VIVACQUA, 2016).

Essa comunidade está situada numa área de depressão entre os bairros da Torre e do conjunto Castelo Branco. Ao norte, com a São Rafael faz fronteira com a comunidade Padre Hildon Bandeira e, ao sul, com a Avenida Dom Pedro II, que corta o Jardim Botânico Benjamim Maranhão (FIGUEIREDO, 2017), também conhecida como Mata do Buraquinho (VIVACQUA, 2016).

A comunidade Tito Silva situa-se nas margens do Rio Jaguaribe, no seu médio curso, no Bairro Miramar. A comunidade surgiu nos anos 1960 com a chegada dos primeiros moradores, em grande parte oriundos de outros municípios da Paraíba (ARAÚJO et al., 2019). Esta Comunidade está situada em uma encosta com crista sinuosa, de inflexão convexa do tipo distribuidora de água e que, na base, encontra-se o Rio Jaguaribe, cuja margem está completamente habitada de forma irregular.

No período de inverno, as referidas comunidades enfrentam problemas quando o nível do rio aumenta e, com isso, a água procura o seu leito maior, causando inundações das habitações que não deveriam estar ocupando a área.

Figura 3.1. Localização das Comunidades São Rafael (A) e Tito Silva (B) em João Pessoa-PB. As fileiras brancas no leito do Rio Jaguaribe representam a localização dos módulos de Biotratamento instalados e, em linhas amarelas, a área de concentração dos ribeirinhos entrevistados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2. Entrevistas com os ribeirinhos

Para a averiguação da percepção de ribeirinhos do Rio Jaguaribe sobre a sua qualidade de água, usos, impactos e sobre o efeito da biorremediação por perifíton, foram selecionadas duas comunidades que estão em contato direto com este rio: São Rafael (P3) e Tito Silva (P4), durante a estação de estiagem.

Para as entrevistas, foram selecionados os ribeirinhos, de ambos os sexos, que morassem no local há pelo menos dez anos, que estivessem em constante contato com o rio Jaguaribe, preferindo-se os que morassem na margem, e que fossem maiores de 21 anos. Para a aplicação das entrevistas, foi apresentado ao morador um termo de consentimento livre e esclarecido a ser assinado por cada entrevistado, concordando com os termos.

O contato inicial foi dado através das associações de moradores dos bairros/comunidades selecionadas, através da apresentação do projeto nas sedes de tais associações. Desse modo, as entrevistas só puderam ser realizadas graças ao apoio das associações comunitárias, firmadas parcerias após apresentar a proposta do biotratamento em reuniões com as lideranças locais, como mostrado na Figura 3.2.

A partir disso, os ribeirinhos que aceitaram e atendiam aos critérios supracitados da entrevista tiveram as suas respostas gravadas, respondendo um questionário semiestruturado (APÊNDICE 8) sobre como eles percebiam, usavam e como os impactos antrópicos interferem na qualidade da água do Rio Jaguaribe na época em que chegaram na localidade, além de fornecerem respostas, de acordo com as suas observações e convivência, se houve ou não melhora da qualidade da água do rio após o biotratamento, entre outras.

Figura 3.2. Reuniões realizadas nos aglomerados urbanos ribeirinhos São Rafael (P3) e Tito Silva (P4), às margens do Rio Jaguaribe, em João Pessoa-PB, antes da instalação dos módulos de Biotratamento por perifíton em 2019.



Foto: própria autoria.

Foi escolhida uma amostra de um número reduzido de ribeirinhos, respaldada na teoria de que, em pesquisa qualitativa (MINAYO, 2009), cujo critério não seja numérico, considerando-se como ideal a amostragem capaz de informar a totalidade nas suas múltiplas dimensões, priorizando-se os ribeirinhos que possuam os conhecimentos que o investigador pretende pesquisar. Neste caso, a maior proximidade e/ou convívio com o Rio Jaguaribe.

A pesquisa qualitativa, de acordo com Richardson (2017), tenta compreender, de forma bem detalhada, os significados e características da situação vivida apresentadas pelos entrevistados, ao invés de métodos quantitativos frente às características e/ou comportamentos dos ribeirinhos.

Entretanto, mesmo seguindo o método qualitativo, nesta presente pesquisa houve a comparação de respostas sobre determinados quesitos sobre o Rio Jaguaribe, porém, em situações diferentes, justificando o uso de testes estatísticos não-paramétricos. Assim, a pesquisa se caracteriza como sendo quali-quantitativa (SAMPIERI, COLLADO; LUCIO, 2013).

Desse modo, em cada comunidade, foram entrevistados no mínimo 10 ribeirinhos após a implantação das estruturas. Estes, quando aceitaram responder ao questionário, foram informados de que suas identidades seriam mantidas em sigilo. Para que as identidades fossem mantidas em sigilo, os entrevistados receberam as iniciais “TS” para os moradores da Tito Silva e “SR” para os da São Rafael, enquanto que as respectivas numerações nessas iniciais foram de acordo com a ordem da entrevista.

Antes da implantação dos módulos foram realizadas duas reuniões nas respectivas sedes das associações de moradores para explicar os efeitos esperados e os benefícios, do biotratamento.

A partir disso, firmaram-se parcerias com os ribeirinhos para a implantação, vigilância, divulgação e manutenção desses módulos instalados no rio. Assim, foram selecionadas, em cada comunidade, áreas do rio mais profundas e que possuíam boa iluminação solar durante o dia, condição necessária para o crescimento e realização da fotossíntese pelo perifíton nos módulos de biotratamento, ao mesmo tempo que os moradores locais pudessem ter acesso ao local do experimento.

Para a captação da percepção dos moradores sobre a atuação do perifíton na qualidade da água do rio, foram realizadas visitas a partir da segunda semana, para realizar perguntas para os que se encontravam no local sobre o que mudou desde então. Desta forma, ocorreram três momentos nas entrevistas quanto à percepção e usos do Rio Jaguaribe: quando chegaram à

localidade; antes da implantação do sistema de biorremediação por perifíton e; após a instalação dos módulos de biotratamento (Ver Roteiro no APÊNDICE 8).

Posteriormente, foram realizadas a análise das respostas através da comparação de respostas dos moradores entrevistados nos três momentos supracitados, através da categorização pelo uso do rio e/ou por notas de zero (pior nota) a 10 (melhor nota) atribuídas pelos moradores a determinado momento/pergunta de entrevista. Para isso, fez-se testes de variância entre o que fora percebido pelos entrevistados antes e depois/durante o biotratamento no Rio Jaguaribe. Os relatos dos entrevistados de maior relevância sobre os tópicos apresentados foram incluídos no texto para fundamentar a discussão dos dados, e a identificação do entrevistado está em negrito.

Para detectar se houve diferença entre notas antes e após este, e do momento da chegada do entrevistado no local para morar, utilizou-se o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, pois os dados diferiram da normalidade.

Para detectar se houve diferença no número de citações de animais pelos entrevistados antes e depois do biotratamento e do momento em que iniciou a morar no local, utilizou-se o teste de qui-quadrado.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

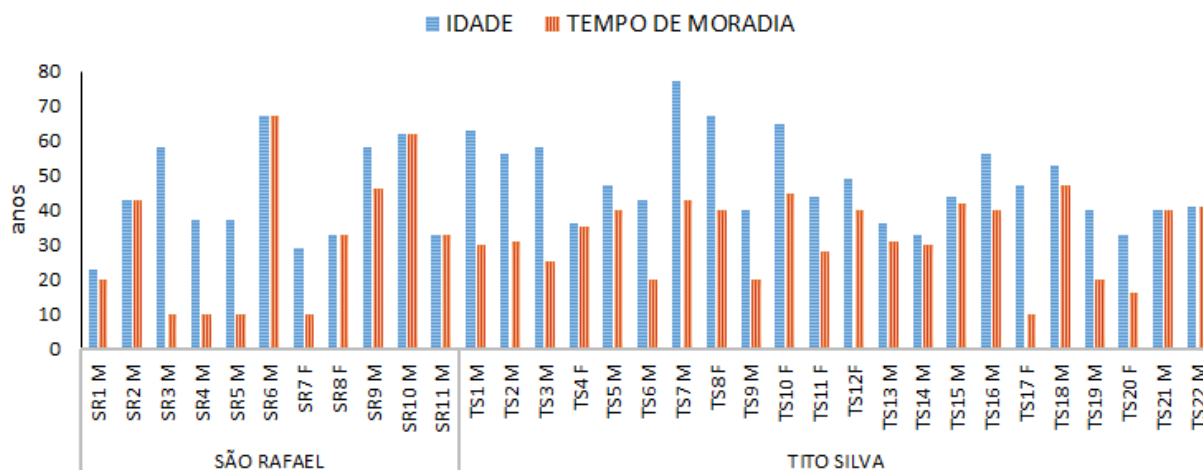
No total, foram realizadas 33 entrevistas (Figura 3.3), sendo 11 na Comunidade São Rafael e 22 na Comunidade Tito Silva, sendo que nesta, apenas 10 quiseram/puderam responder sobre o pós-biotratamento.

Dentre todos os entrevistados, o **TS7** foi a pessoa mais idosa, com 77 anos de idade, seguido do **SR6** e **TS8**, ambos com idade de 67 anos. No entanto, quando se trata do tempo de moradia no local, os mais antigos foram os entrevistados da São Rafael, entre os quais o **SR6**, com 67 anos de moradia, seguido do **SR10**, com 62 anos. O mais antigo da comunidade Tito Silva foi o **TS18**, convivendo no local há 47 anos. A Figura 3.3 também mostra a idade e o tempo de moradia de cada entrevistado.

Preocupados de serem alvos do projeto da Prefeitura de João Pessoa para demolir as casas muito próximas das margens do Rio Jaguaribe (PMJP, 2019) e serem relocados para outro local (ANEXO 3), muitos moradores das comunidades se recusaram a dar entrevistas sobre as suas percepções sobre a Biorremediação no rio Jaguaribe, principalmente na São Rafael (na área da “Baiúca”, cujas famílias estão em áreas de maior vulnerabilidade), mesmo tendo

participado/acompanhado desde a implantação dos módulos de biotratamento até as mudanças ocorridas na água do rio por conta do experimento.

Figura 3.3. Idade e tempo de moradia dos ribeirinhos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB, de setembro a dezembro de 2019 (São Rafael – P3 e Tito Silva-P4). As letras M = Masculino e a F = Feminino.

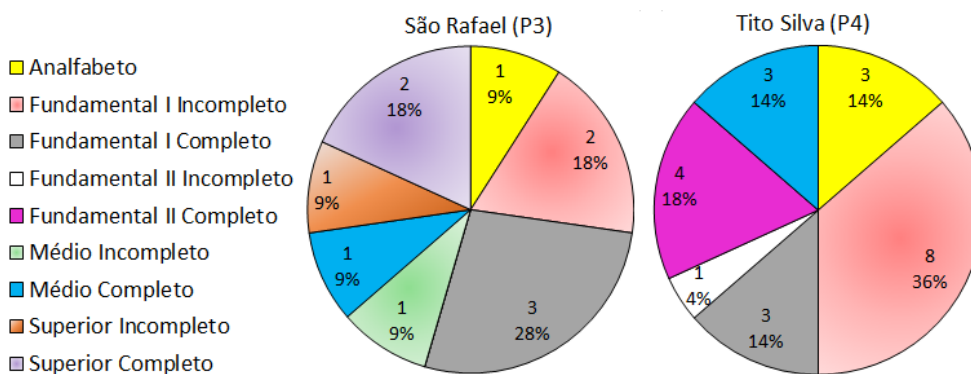


Fonte: Dados da Pesquisa.

Com relação ao sexo dos ribeirinhos entrevistados (*vide* Figura 3.3), na comunidade São Rafael foi registrado 82% homens e 18% mulheres, enquanto que na Tito Silva, 68% homens e 32% mulheres.

Em relação ao nível de escolaridade dos entrevistados, na São Rafael, 46% possuía o Fundamental incompleto e 18% tendo o superior completo. Já na comunidade Tito Silva, o percentual de entrevistados que possuía o fundamental incompleto foi de 54% (36% somente de Fundamental I incompleto), como mostra a Figura 3.4.

Figura 3.4. Nível de Escolaridade dos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB, entrevistados de setembro a dezembro de 2019 (São Rafael – P3 e Tito Silva-P4).



Fonte: Dados da Pesquisa.

Em relação aos resultados de escolaridade, esses são semelhantes aos obtidos por Silva, Cândido e Freire (2009); Lucena (2010); Bonifácio e Abílio (2010b); Alves (2012); Pereira, Pereira e Castro (2016) e Oliveira (2020), cuja maioria dos entrevistados possui somente o Ensino Fundamental incompleto, o que mostra o baixo nível de escolarização dos moradores de aglomerados urbanos ribeirinhos.

3.3.1. Sobre o uso do Rio Jaguaribe pelo ribeirinhos

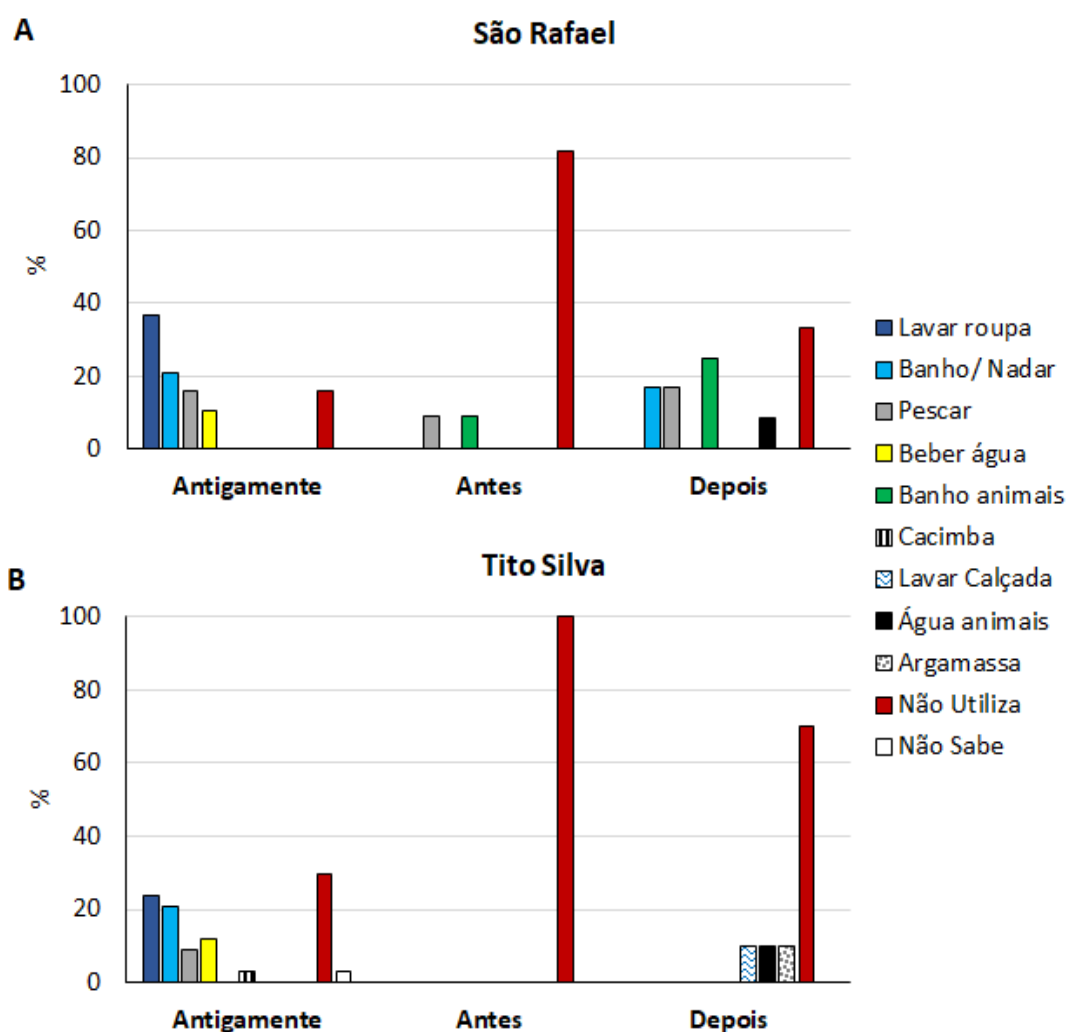
Quando perguntados sobre o uso do rio na época quando os entrevistados chegaram para morar na localidade, os ribeirinhos relataram que o rio era muito limpo e que era possível realizar muitas atividades, dentre elas, as mais citadas foram lavar a roupa, como forma de ganhar dinheiro, e a recreação, como tomar banho ou nadar no rio, com 38% e 24%, respectivamente, na Comunidade São Rafael (Figura 3.5 A) e 25% e 22%, de forma respectiva, na Tito Silva (Figura 3.5 B). A pesca foi a terceira atividade mais citada na São Rafael, com 14%, enquanto que na Tito Silva, beber água chegou a 16% de citações.

No entanto, houve quem não utilizasse o rio para realizar atividades ou usos. Isto se deve ao fato de terem chegado a morar nas respectivas comunidades quando o rio estava já com um grau de poluição acentuado, de acordo com a percepção deles, chegando a 14% e 25% na São Rafael e Tito Silva, respectivamente.

Ao se questionar se ainda realizavam essas atividades nos dias atuais, antes da intervenção da Biorremediação por perifíton, em ambas as comunidades, houve 100% de respostas do não uso do rio por parte dos entrevistados da Tito Silva. No entanto, 20% dos entrevistados da São Rafael afirmaram que ainda fazem uso do rio, enquanto que os 80% não o fazem. A principal justificativa foi que o rio está muito poluído e não prestava para fazer mais nada.

De acordo com Marsavo et al. (2017), avaliando as variáveis físicas e químicas da água e a percepção dos moradores do Córrego Engole Cobra, Cuiabá-MT, tais moradores se lembravam, com nostalgia, do córrego na época antiga, pois as suas águas serviram para abastecer as suas casas, para fazer a recreação e pescaria, mas que, atualmente, é algo para se preocupar por causa do mau cheiro e da proliferação de doenças, cujo córrego se encontra em situação de descaso por parte da gestão pública.

Figura 3.5. Usos e/ou atividades no rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, pelos ribeirinhos entrevistados em setembro a dezembro de 2019 (São Rafael –A; e Tito Silva - B).



Fonte: Dados da Pesquisa.

Após todos os problemas que existem no Rio Jaguaribe, respondidos pelos moradores com a instalação dos módulos de Biotratamento por perifíton, a maioria dos entrevistados ainda não utilizariam ou realizariam atividades no rio (46% na São Rafael e 50% na Tito Silva). No entanto, houve mudanças em 54% na São Rafael e outros 50% na Tito Silva, cujas atividades relatadas que poderiam ou já estavam sendo realizadas, cuja resposta ‘outros’ se refere a dar de beber ou dar banho nos animais (seguindo-se a sequência, 36% e 25%, respectivamente).

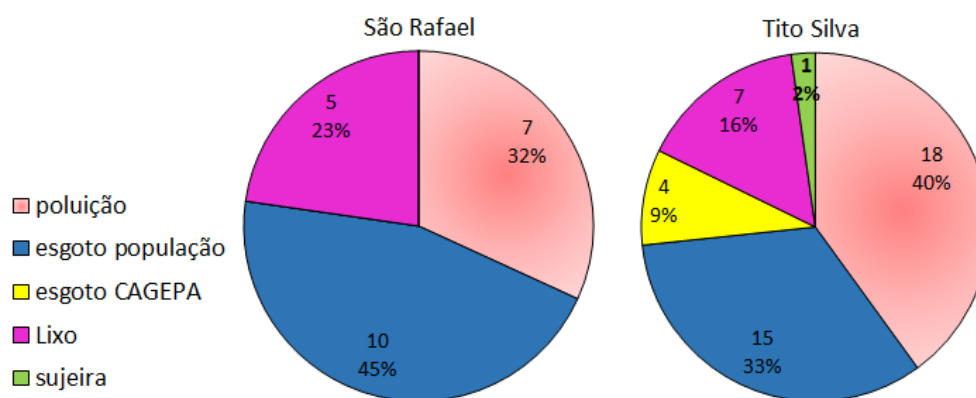
Sobre as diferenças nas duas comunidades sobre o uso do rio pelos entrevistados, tais atividades mudaram significativamente tanto do período inicial de moradia para antes do tratamento ($X^2 = 126.65$, $p\text{-value} < 0.001$ na São Rafael e $X^2 = 104.76$, $p\text{-value} < 0.001$ na Tito Silva), como também entre o antes e o após o biotratamento ($X^2 =$

44.422, p-value <0.001; X-squared = 50, p-value <0.001, respectivamente São Rafael e Tito Silva).

A respeito de não utilizarem mais o Rio Jaguaribe para realizar as atividades de recreação, necessidades ou ganhar dinheiro, os entrevistados informaram que a poluição do rio, os esgotos lançados para dentro do leito do rio, tanto pela população (sejam eles da própria comunidade e/ou de bairros e comunidades vizinhas) quanto pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), sem esquecer de mencionar o lixo jogado dentro dele, são os principais motivos, sendo os impactos mais percebidos e relatados.

Na Comunidade Tito Silva, a Poluição, de forma geral, foi o impacto mais percebido, sendo relatado por 40%, seguido de 33% de esgoto jogados pela população, enquanto que os que culpavam a CAGEPA atingiu um percentual de 9%. Já para os moradores da São Rafael, o Esgoto lançado pela população foi o que obteve o maior percentual, com 45%, seguido da Poluição, com 32%. O Lixo dentro do leito do rio foi o terceiro impacto mais relatado para as duas comunidades, como mostra a Figura 3.6.

Figura 3.6. Impactos percebidos no Rio Jaguaribe, em João Pessoa-PB, pelos ribeirinhos entrevistados da São Rafael e da Tito Silva em 2019.



Fonte: Dados da Pesquisa.

De acordo com **TS5**, a respeito do esgoto lançado dentro do Rio Jaguaribe (Figura 3.7), disse:

“Moro em cima de um córrego (de esgoto vindo do Bairro Miramar) Foi depois que a CAGEPA colocou esses negócios aqui e na Padre Hilton (referindo-se à estação elevatória dentro da comunidade e nas margens da avenida Beira Rio), o que foi que aconteceu aqui foi a CAGEPA, a comunidade cresceu e jogando os esgotos pra dentro e sem nenhum controle da CAGEPA. Sei que quem matou o rio não foi a gente, quem matou foi a CAGEPA. A comunidade cresceu, não tem saneamento básico e jogou tudo pra dentro do rio. Agora é o esgoto da comunidade (...) Aqui tem uma subestação da CAGEPA e aqui tem um sangrador pra dentro do rio direto. Quando os meninos (da CAGEPA) vem desligar a bomba vira sangradouro, pra economizar energia. Aí fica um escape (de esgoto) pra dentro do rio”.

Figura 3.7. Galeria de esgoto oriundo do bairro Miramar, João Pessoa, PB (A) passando por baixo das residências da comunidade Tito Silva, indicada pela seta amarela (B) esgoto proveniente da galeria indicada, sendo lançada diretamente no rio Jaguaribe, registrado em setembro de 2019, antes da instalação dos módulos de Biorremediação.



Fonte: Confeccionado durante a pesquisa pelo autor, 2019.

A moradora **TS9** diz: “piorou mesmo por causa da proliferação de esgoto e vegetação que aumentou muito, a pasta e o capim que tinha, mas foi crescendo cada vez mais. Por questão dos esgotos que começaram a aumentar e a quantidade de pessoas também”.

Os esgotos dos bairros, condomínios ou grandes empreendimentos no Vale do Rio Jaguaribe, vindos canalizados em grande escala (de forma clandestina ou com autorização dos setores públicos responsáveis) aumentam mais ainda a concentração de poluentes no rio e isso é percebido pelos moradores desses bairros ribeirinhos.

Grande parte dos problemas do Rio Jaguaribe são provocados principalmente pela falta de saneamento básico. Leite (2020) verificou o mesmo nas comunidades ribeirinhas do Rio Paraíba.

O relato do **SR11** diz a respeito dessa situação:

“Principalmente depois que as grandes obras foram construídas ao redor da São Rafael, né, como o hospital da UNIMED, feito o Jardim Botânico, esses grandes empreendimentos que foram feitos tanto no Bairro da Torre quanto no Castelo Branco que aí o volume de esgoto que começou a cair dentro do rio foi maior. Com os grandes empreendimentos, que começaram a jogar os esgotos dentro do rio, e quando começaram o esgotamento sanitário aqui da comunidade São Rafael, 100%. Que como não tinha esgotamento na comunidade, então o pessoal tinha fossa séptica, e até o esgoto chegar no rio, querendo ou não, por baixo da terra fazia aquela filtragem, só que depois que canalizaram e fizeram o esgotamento, na época a prefeitura, acho que em um ano ou dois anos mais ou menos, todo o esgoto estourou. Porque eles colocaram canos de 100mm na área do rio, estouraram e aí, você tinha 30% do esgoto quando não tinha tubulação caindo no rio diretamente, que o resto tinha fossa, e quando fizeram o esgotamento sanitário das casas, 100% foi canalizado pra dentro do esgoto e aí, 100% começou a cair dentro do rio. Então, quando começou a cair o esgoto da comunidade mais os dos empreendimentos que ainda era maior o volume, aí você começa a ter o mau cheiro, poluição”.

Quando se perguntou qual é o destino do esgoto doméstico dos entrevistados, na maioria das casas, o efluente é lançado diretamente sem tratamento para o leito do Rio Jaguaribe, principalmente na comunidade São Rafael, que obteve 64% dos entrevistados, enquanto que na Tito Silva, a porcentagem foi de 45% (Figura 3.8).

Para aqueles que afirmaram que suas casas são saneadas na São Rafael, o entrevistado **TS11**, diz que:

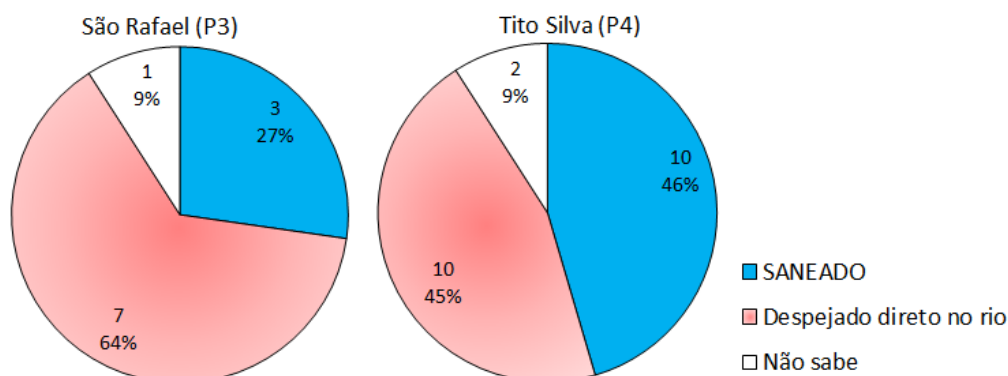
“Porque hoje você tem que jogar porque o esgoto das caixas dos pontos de vistorias de cada casa, que é o esgoto que a casa liga pra rede, ou você faz um sangradouro nos pontos de vistoria ou o esgoto vai tomar conta do seu quintal. Então, todas as famílias tiveram que fazer o sangradouro para dentro do rio, então eles utilizam o rio para jogar os esgotos dentro”.

Em relação ao destino do esgoto, **SR4** disse:

“Porque é muita sujeira. Principalmente no tempo de chuva, alagamento, que o rio sobe, a grande maioria das pessoas aqui jogam saneamento básico, não tem fossa, não tem saneamento aí joga no rio e por conta disso, tem também pessoas que cria porco, aproveita o esgoto aí e joga no rio também”.

Quando a casa não possui uma rede coletora de esgoto, é comum à população utilizar fossa séptica ou lançar as águas servidas na rua que escoam direto na rede pluvial (que coleta apenas água de chuvas) ou descartar o esgoto diretamente em valões, córregos, rios, porém esta ação contribui para agravamento e contaminação do meio ambiente e da saúde (FREITAS; CESAR; OLIVEIRA, 2016).

Figura 3.8. Destino dos efluentes domésticos dos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, em João Pessoa-PB, entrevistados em setembro a dezembro de 2019 (São Rafael – P3 e Tito Silva-P4).



Fonte: Dados da Pesquisa.

De acordo com Xavier (2010), os entrevistados sabem que é errado lançar o esgoto doméstico diretamente no rio, porém dizem que não há outra opção senão fazer o errado, alegando que a construção de fossas sépticas não é viável porque o terreno no entorno do rio é todo de sedimento muito compactado, o que torna de alto custo o trabalho de escavar, ao mesmo tempo que a prefeitura também não se dispõe a realizar o serviço.

Antunes et al. (2014) também averiguaram que os moradores da nascente do Rio Carahá, em Lages – SC, tinham consciência da poluição das águas na região, mas que faziam uso do rio para levar/carregar o esgoto de suas residências pois sabiam que a água que leva o esgoto desses moradores não seria diretamente usada para seu consumo, já que a água para esse fim vem tratada de outro local pela Secretaria Municipal de Águas e Saneamento.

De acordo com Tucci (2008) e Queiroz (2009), os rios urbanos brasileiros são tratados como resíduos e locais de despejos, pois muitas das vezes, os córregos existentes em bairros não são mais reconhecidos como recurso hídrico, mas apenas como esgoto a céu aberto.

O esgoto é uma mistura de água e matéria orgânica, cuja composição é de mais ou menos 99% de água e 1% ou mais de fezes, urina e água do serviço doméstico (FREITAS; CESAR; OLIVEIRA, 2016).

Segundo os moradores do entorno do Rio Jaguaribe, concordando com Crispim et al. (2013), as águas residuais constituem-se num problema para os rios. Pereira, Pereira e Castro (2016) afirmaram que a poluição generalizada dos rios mais ou menos caudalosos só se iniciou com a introdução de efluentes domésticos nas cidades e a deterioração dos mananciais aumentou muito com o surgimento das construções das redes de efluentes sanitários, provocando o aumento de matéria orgânica nos rios.

Em relação à percepção estabelecida com o Rio Jaguaribe, Bonifácio e Abílio (2010b) averiguaram que se mostrou totalmente negativa, uma vez que os ribeirinhos locais reconhecem que os efeitos destrutivos do rio chegam até o “paul”, destacando-se a poluição do rio (lixo, esgoto). Respostas sobre a Percepção dos ribeirinhos do Bairros São José, a poluição dos rios são também as mais citadas (MEDEIROS; BARBOSA, 2016).

Na percepção dos alunos de três escolas próximas ao Rio Jaguaribe em relação aos problemas ambientais, a poluição também foi a mais frequente (BONIFÁCIO; ABÍLIO, 2010a).

A poluição gerada no rio agrava a qualidade de vida humana que vive no seu entorno, afetando diretamente os organismos vivos que habitam essas águas. Devido a essa poluição, observou-se sazonalmente a proliferação das plantas flutuantes em todo o leito do Rio Jaguaribe, encobrindo-se toda a lâmina de água (SANTOS et al., 2016).

A maioria dos moradores ribeirinhos do Rio Jaguaribe afirmam que os aguapés (*Eichhornia crassipes*), popularmente conhecidos como “pastas”, encontrados sobre a superfície das águas, são plantas de locais poluídos, mas que são vistos mais como empecilho para obstruir as pontes durante a época de chuvas e, com isso, alagando as comunidades ribeirinhas, do que como consequência indireta de má qualidade da água, além de associar também como criatório de mosquitos. Ou seja, não percebem que as macrófitas são o resultado da poluição, causada pelo próprio ser humano, veem apenas como mais um aspecto negativo ao rio. A Figura 3.9 mostra os aguapés nas margens da Comunidade Tito Silva, em novembro de 2019.

Figura 3.9. Retirada de Aguapés (*Eichhornia crassipes*), popularmente conhecido como “pastas” no Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB, nas margens da Comunidade Tito Silva, em novembro de 2019. (A) aguapés sendo amontoados na margem do rio para forrageio; (B) retirada manual, com o auxílio de uma jangada construídas por moradores locais.



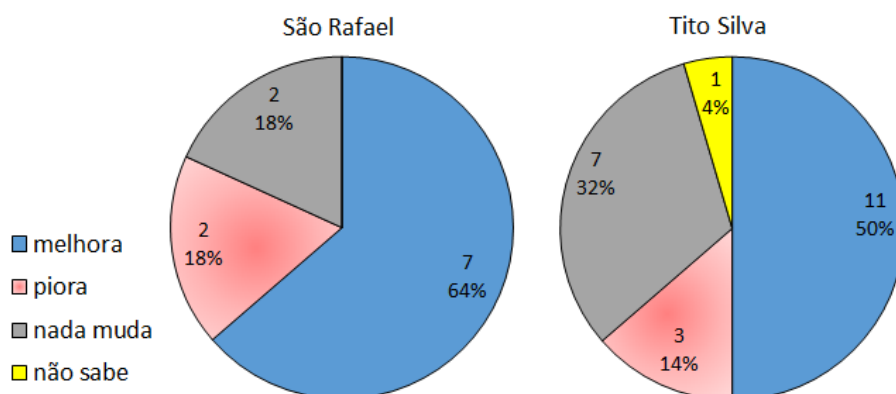
Foto: Cristina Crispim (2019).

A respeito de uma opinião e uma nota dada pelos entrevistados sobre os aguapés quando se alastram no rio, de acordo com **TS7**, “Nota 0, porque empata da água descer. As fezes ‘fica’ tudo, às vezes bicho morto”, enquanto **TS8** diz “Nota 0, porque elas tomam conta do rio e não tem a saída da água, ficam empatando a água descer”. Enquanto que **TS9** diz “Nota 3, piora muito, porque quando há chuva ela atrapalha a correnteza do rio”, enquanto **TS3** diz “Dou 2, porque fica a pior sujeira. Por motivo de não ter escoamento da água e o lixo que vem da parte nascente”.

Essas macrófitas possuem grande utilidade na despoluição de esgotos, devido à sua capacidade de absorção de nutrientes. Por isso, é muito comum que o aguapé seja encontrado em águas poluídas por existir abundância de nutrientes (COELHO, 2017). Entretanto, em situações em que se encontre em superpopulação, pode se tornar um grande problema, por não permitir a oxigenação da água (SANTOS et al., 2016). Além disso, quando ocorrem chuvas torrenciais, essas “pastas”, juntamente com o lixo acumulado, acaba obstruindo a passagem da água (MEDEIROS; BARBOSA, 2016).

No presente trabalho, como forma paliativa da retirada dos aguapés e aumentar a vazão do Rio Jaguaribe, a única alternativa que vem sendo utilizada pela Prefeitura Municipal de João Pessoa é a dragagem. De acordo com os moradores entrevistados em relação aos efeitos da dragagem na água desse rio, os resultados apontaram que a melhora foi a resposta mais predominante (64% e 50% nas comunidades São Rafael e Tito Silva, respectivamente). Entretanto, respostas de que nada mudava (32% na Tito Silva) ou que piorava a qualidade da água após a dragagem (18% para ambos na São Rafael) também foram relatados pelos moradores, como mostra a Figura 3.10.

Figura 3.10. Percepção dos ribeirinhos das comunidades São Rafael e Tito Silva, João Pessoa, PB, sobre os efeitos da dragagem na qualidade de água do Rio Jaguaribe.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Quando os moradores se referem à melhora da água pela dragagem, o real motivo da discussão não se dá apenas devido à limpeza das macrófitas aquáticas flutuantes, mas para que essas “pastas” não impeçam de aumentar a correnteza do rio para que não haja maiores danos causados pelas enchentes na época chuvosa.

De acordo com o ator social **TS2** no presente trabalho, é citado "Faz muito tempo que eles (as máquinas e o pessoal que as operam) sempre vem na gestão dos prefeitos eles mandam a draga pra limpar, mas faz muitos anos que eles sempre tira as pastas, tenta afunda mais ele. Ela (a draga) vem no mês de janeiro."; **TS4** diz "Ele melhora. Não na cor, mas na correnteza... porque quando as pastas param a água fica mais devagar, mais lenta a água e quando vem a draga ela desce normalmente (água do rio) escoar melhor. Na correnteza ela melhora, mas na cor não muda tanto."; **TS9** diz "Melhora, não fica nítida, mas melhora porque escorre melhor."; **TS10** diz "Melhora, porque tira a pasta e a água desce. Se não tirar a pasta, a gente nada, aqui enche tudo."; **TS16** disse “Não muda nada. Porque a dragagem eles tiram só as pastas, essa lama preta não sai de jeito nenhum”.

Segundo Antuniassi, Velini e Martins (2002), o controle mecânico, com uso da dragagem, tem sido a prática mais utilizada devido às condições operacionais como por restrições ambientais, que não seria eficiente a outros métodos. Diferentes sistemas e equipamentos têm sido usados no controle de plantas aquáticas, os quais podem colher, dragar, picar, cortar ou realizar duas ou mais dessas funções conjuntamente (MARCONDES et al., 2003).

De acordo com Antuniassi, Velini e Martins (2002), a limpeza dos ambientes aquáticos, por meio do controle mecânico, pode ser dividida em quatro etapas: a retirada das macrófitas aquáticas e outras plantas de dentro dos rios, canais, lagos e reservatórios; o transporte dessas plantas ainda no corpo hídrico; a transferência do material coletado para o ambiente terrestre; e o transporte e descarte desse material.

Entretanto, no presente trabalho, o descarte do material coletado, principalmente o sedimento aquático, não atende a última etapa supracitada, pois tal material é depositado na margem do Rio Jaguaribe, sem haver o destino correto (Figura 3.11), como relata a moradora **SR7**: “Não dura muito tempo, o efeito da Draga no rio, porque a areia que é retirada fica na margem, então à medida que vai chovendo, a areia volta”.

Já o **SR8** disse:

“não é dragagem, eles tiram só a lama e acabou. Isso é bom pra gente... pro rio não é não. Conversando com os meninos da limpeza, eles disseram que nem limpeza é, nem

dragagem... cava uns buracos, tira o excesso do que tá lá e não jogam, deixam na beira do rio mesmo e aquilo, conseqüentemente, vai voltar pro rio”.

Enquanto o **SR11** disse “Se vier antes da chuva (como foi o caso de 2019 para 2020), não dura muito, que quando a chuva vem já... (volta tudo que foi tirado pro rio)”.

Vale ressaltar que o Nitrogênio e o Fósforo (*vide* Figura 2), dois importantes macronutrientes que, em excesso, podem ocasionar o processo de eutrofização nos ambientes aquáticos, ficam depositados e/ou disponíveis no sedimento aquático (ESTEVES; AMADO, 2011; ESTEVES; PANOSSO, 2011). Ao chover, esses nutrientes retirados do rio, principalmente o Fósforo, acabam retornando em altas concentrações, ocasionando de forma rápida o processo de Eutrofização no Jaguaribe, sendo um ciclo vicioso para mais crescimento de aguapés no leito do rio.

Figura 3.11. Ação da dragagem no Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB. (A) retirada de lama e plantas aquáticas na Comunidade São Rafael em novembro de 2019; (B) sedimento aquático rico em matéria orgânica e nutrientes, principalmente Fósforo e Nitrogênio, deixado pela draga junto à margem direita do rio na margem na Comunidade São Rafael, em 2019 e (C) acúmulo de material dragado rico em matéria orgânica, na margem direita do Rio Jaguaribe, na comunidade Tito Silva.

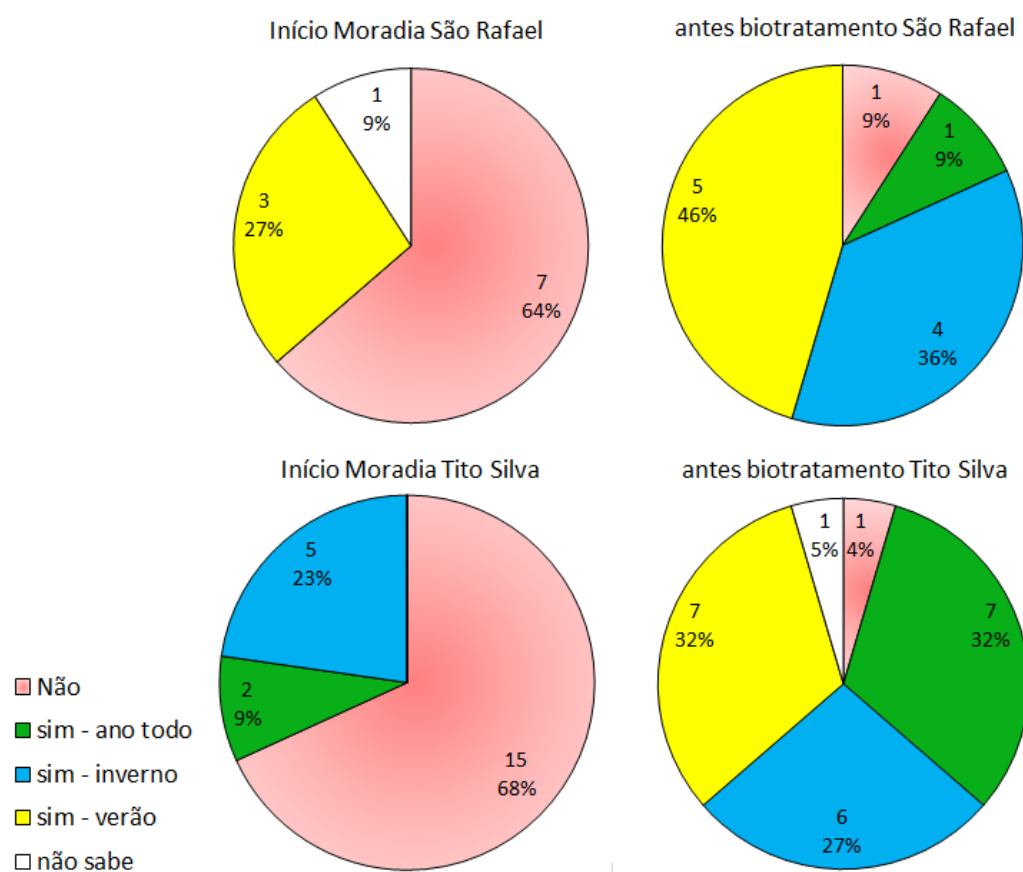


Fonte: Própria autoria.

3.3.2. Quanto ao mau cheiro (odor) do rio

A respeito do odor percebido pelos entrevistados, oriundo diretamente do Rio Jaguaribe, da época quando eles iniciaram a sua moradia no local, 68% e 64%, respectivamente, na Comunidade Tito Silva e na Comunidade São Rafael, informaram que não sentiam gases mal cheirosos porque o rio era limpo. No entanto, os que sentiram odor vindo do rio, 27% percebia no verão na São Rafael e 23% dos entrevistados o percebiam no inverno, na Tito Silva, como pode ser visto na Figura 3.12.

Figura 3.12. Percepção dos entrevistados das comunidades São Rafael e Tito Silva, João Pessoa, PB, sobre o gases malcheirosos oriundos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Nos dias atuais, antes da intervenção dos módulos de biorremediação no Rio Jaguaribe, o percentual de percepção dos entrevistados em relação aos gases mal cheirosos advindos do rio foi de 100% em ambas as comunidades, o que não vem a precisar de gráfico para evidenciar o resultado.

O odor era mais sentido no verão (a partir da tarde) para 46% dos entrevistados da São Rafael, seguido de 36% dos que percebiam no inverno. Já para os da Tito Silva, os gases mau

cheirosos eram sentidos tanto no verão quanto no ano todo (ambas atingiram 32%), enquanto 27% percebiam só durante o inverno.

A percepção sobre o odor do rio antigamente e antes do biotratamento mudou com o passar do tempo. A maior parte dos entrevistados informou que o rio não tinha odor ao chegarem para morar (51.794, $df = 1$, $p\text{-value} < 0.001$), e poucos entrevistados relataram que o rio não tinha odor antes do biotratamento.

Os entrevistados justificavam que nos tempos quentes, a água esquentava e liberava os gases produzidos no rio, tendo uma noção de solubilidade dos gases em temperaturas elevadas, como pode ser visto na resposta de **TS1**, que respondeu:

“Sim. Na época do verão. Porque a água diminui, o nível do rio baixa, então a lama sobe os gases malcheirosos. Hoje com a poluição a água parada quase o rio não tem correnteza, e antigamente, o volume da água era mais (...) Na parte da tarde, porque a atmosfera aumenta a temperatura, a temperatura aumenta e o vapor aumenta também, né isso.”,

Enquanto isso, **TS4** disse “Sim, mais no inverno que vai descendo e vai mexendo tudo. A partir das nove ao meio dia, porque vai esquentando, e solta aquele vapor das águas”. Já o **TS2**, diz:

“na época de chuva... todo tempo fede, mas o tempo que mais fede é o da chuva, que arrasta tudo... aí fica do jeito que a gente nem aguenta. Fede no tempo do verão e fede mais ainda no tempo do inverno. Todo o horário fede muito, mas no horário da noite fede mais ainda. Acredito que porque para mais a circulação do vento, fica mais estacionado aí fede mais”.

Os resultados de Barbosa e Kan (2015), medindo a percepção dos moradores sobre a sensibilidade ao odor advindo do Rio Belém, em Curitiba-PR, confirmaram que diante do mau cheiro avaliado, praticamente todos se sentiram incomodados, ainda que em grau diferente, em que a maioria percebia muito mais nos dias quentes e/ou quando chovia.

Esses gases exalados podem acarretar inúmeras reações sobre os indivíduos, como cefaleia, náuseas, insônia, dermatite, doenças no sistema respiratório e irritação nos olhos e, dependendo da concentração, causar a síndrome do desconforto respiratório, danos neurológicos e até óbito (SCHIFFMAN et al., 2001).

O Sulfeto de hidrogênio é um gás altamente tóxico e inflamável, cujo odor muito pungente é percebido de forma inicial, mas rapidamente pode enfraquecer o sentido do olfato, tornando as pessoas sob a influência desse gás como vítimas potenciais por não perceberem estar na sua presença (GERASIMON et al., 2007).

Entretanto, de acordo com Doty e Cameron (2009), a percepção dos odores é subjetiva, pois cada indivíduo reage diferentemente a cada composto químico e também pode apresentar

reação fisiológica adversa para cada concentração, sendo alguns fatores, tais como a idade, o sexo, tabagismo, saúde debilitada, baixa higiene bucal, hormônios de reprodução, aspectos psicofísicos e condições de exposição influenciadores na sensibilidade dos indivíduos.

Isto foi relatado, no presente trabalho, pela moradora **TS20**, quando ela diz “esses gases malcheirosos faz muito mal pra saúde das crianças, né”. Ainda no presente trabalho, os moradores das comunidades Tito Silva e São Rafael relataram que o forte odor advindo do Rio Jaguaribe era mais sentido nos dias quentes, principalmente no verão, em horários de temperaturas mais elevadas, ou durante a noite, quando estava nublado (“abafado”) ou com pouco vento.

Augusto (2015), desenvolvendo modelos matemáticos para a emissão e dispersão do gás sulfídrico, também chamado de sulfeto de hidrogênio, verificou, na simulação de emissão, influência de variáveis meteorológicas (temperatura e velocidade do vento) na volatilização, com um grande alcance da pluma de odor e a relação direta entre a direção predominante dos ventos e o deslocamento do poluente.

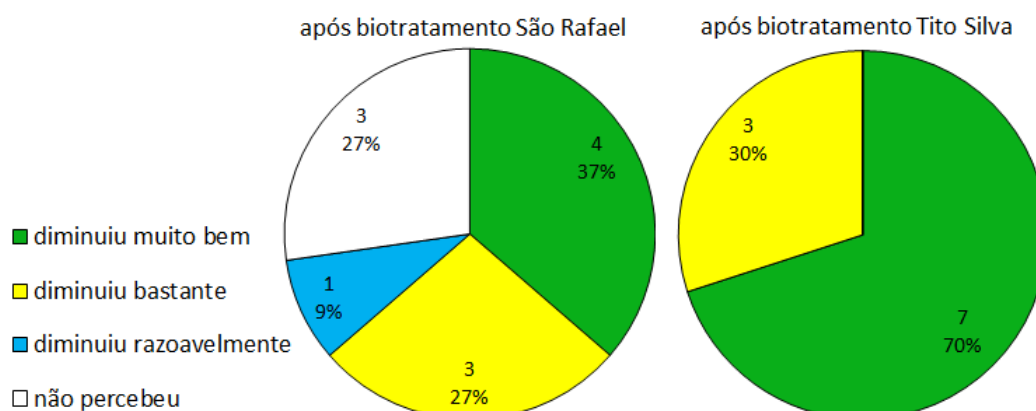
Isso explica o motivo porque vários entrevistados associaram, no presente trabalho, a percepção do mau-cheiro no verão, outras no inverno, por não saberem ao certo qual o período em que esse mau cheiro é exalado de forma mais intensa. Enquanto que o associar o maior mau cheiro com pouco vento tem relação com a manutenção dos gases no local e não haver a dispersão.

Por ser um gás mais pesado que o ar, é previsível que se acumule no fundo de espaços pobremente ventilados, como acontece em dias quentes sem ventilação (GERASIMON et al., 2007).

Após a instalação dos módulos de Biotratamento por perifíton, houve mudanças nas respostas dos entrevistados, pois vários relatos informaram que os gases malcheirosos ou havia sumido (diminuído muito bem), com 37% e 78%, respectivamente na São Rafael e Tito Silva, respectivamente, ou diminuído bastante, 27% e 22%, seguindo-se a mesma sequência respectiva, como mostra a Figura 3.13.

Apenas 1 entrevistado da Tito Silva não soube responder, enquanto 27% dos ribeirinhos da São Rafael, que moram um pouco mais afastados do rio, informaram que não perceberam se houve redução do odor, mas também não deixaram claro se continuava a vir gases mau cheirosos do rio após o biotratamento.

Figura 3.13. Percepção dos ribeirinhos das comunidades São Rafael e Tito Silva sobre os gases mau cheirosos oriundos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, após a instalação dos módulos de Biotratamento.



Fonte: Dados da Pesquisa.

De acordo com **TS14**, “até o cheiro melhorou mais. Não é que o cheiro era terrível, mas deu uma melhorada”. No entanto, quanto ao relato da **TS15**:

“Com esse trabalho, tá melhorando muito o rio. Não tem gases malcheirosos mais não. Depois que colocou uns 15 dias. Aí eu disse... oxente, alguma coisa eu tou sentindo estranho, minha vizinha perguntou: Por quê? E eu disse que eu não tou sentindo mais o gases malcheirosos do rio. Aí a minha vizinha disse: homi, não é por causa desses troços que está aí? Foi rápido, quando começou a funcionar, foi ligeiro”.

De acordo com Lima (2009), o pico dos índices de riqueza e diversidade para o perifíton instalado em substratos artificiais ocorrem na segunda semana de colonização para o período seco e na terceira semana para o período chuvoso.

Já na São Rafael, o morador **SR3** disse “o mau cheiro diminuiu, cerca de 80% diminuiu”.

Com esse resultado, de acordo com a percepção relatada pelos ribeirinhos, o biotratamento mostrou-se eficaz, pelo menos em nível local, para a redução de gases odoríferos produzidos, sendo atestado por 73% dos moradores da São Rafael e 90% na Tito Silva, relatando que o odor diminuiu consideravelmente de antes para após o biotratamento, tanto na São Rafael ($X^2 = 60.903$, $df = NA$, $p\text{-value} < 0.001$) como na Tito Silva ($X^2 = 233.33$, $df = NA$, $p\text{-value} = 0.001$).

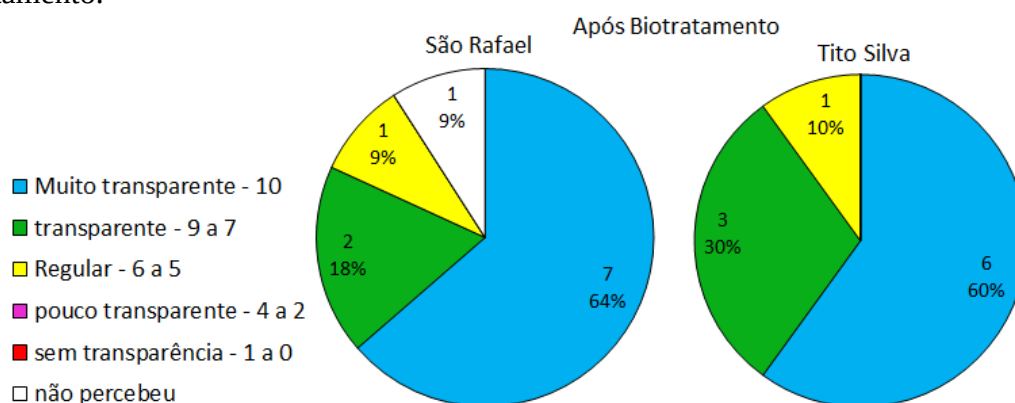
3.3.3. Percepção sobre a transparência da água

A respeito da transparência da água, apenas 1% dos moradores da São Rafael não percebeu que houve tal mudança, mas 99% perceberam que a água do Rio Jaguaribe ficou mais

clara a jusante dos módulos de biotratamento. Assim, sendo, 64% dos entrevistados da São Rafael relataram que a água ficou muito transparente, 18% que ficou transparente.

Já na Tito Silva, os percentuais não foram tão diferentes, pois 60% consideraram que a biorremediação deixou a água muito transparente, enquanto 30% considerou somente transparente (Figura 3.14).

Figura 3.14. Percepção dos ribeirinhos das comunidades São Rafael e Tito Silva sobre transparência da água do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, após a instalação dos módulos de Biotratamento.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Este resultado mostra que o aumento de área de contato com o perifíton na coluna de água é capaz de diminuir a turbidez. Por motivos logísticos, não foi possível fazer a medição da turbidez, baseando-se praticamente, na percepção dos moradores do entorno.

3.3.4. Sobre peixes e outros animais

No total, foram citados 45 animais, incluindo invertebrados (sanguessuga, camarão, siri, caranguejo e goiamum), mamíferos (lontra, anta, paca, preá e capivara), répteis (camaleão, tejo, cobra, cágado e jacaré), aves (garça, socó, papa-capim, puleiro, bigode) e peixes.

A Tabela 3.1 mostra a porcentagem dos grupos de animais que foram citados na entrevista, enquanto que a relação de todas as espécies citadas se encontra nos Apêndices 11 e 12.

Tabela 3.1. Número de animais e grupos de animais citados pelos moradores entrevistados do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, na chegada ao rio para morar, antes do biotratamento e após o biotratamento.

	Chegada		Antes		Depois	
	N	%	N	%	N	%
Anelídeo	1	3.2	0	0.0	0	0.0
Ave	2	6.5	0	0.0	3	9.7
Crustáceo	2	6.5	0	0.0	0	0.0
Mamífero	5	16.1	2	6.5	0	0.0
Peixe	15	48.4	5	16.1	8	25.8
Réptil	3	9.7	2	6.5	2	6.5

Fonte: Dados da Pesquisa.

Em relação aos peixes percebidos pelos ribeirinhos das duas comunidades-alvo no Rio Jaguaribe, no total, independentemente de ser antes ou depois do biotratamento, foram citadas 20 espécies, entre as quais:

a) **Peixes de água doce:** Acará (*Astronotus* spp.); Cará (*Geophagus brasiliensis*); Carpa (*Cyprinus carpio*), Cascudo (*Hypostomus* sp.), Curimatã (*Prochilodus lineatus*), Guaru (*Poecilia vivipara*), Muçum (*Synbranchus* sp.), Papa-terra (*Awaous tajasica*), Pescado (*Plagioscion* spp.), Piaba (*Astyanax* spp.), Piau (*Leporinus* sp.), Quindunde (*Pogonias cromis*), Sarapó (*Gymnotus carapo*), Taicica (*Gobionellus boleo*), Tilápia (*Oreochromis niloticus*), Traíra (*Hoplias malabaribus*), Tucunaré (*Cichla* spp.);

b) **Peixe de estuário/marinho:** Carapeba (*Diapterus auratus*), Camorim (*Centropomus undecimalis*), Tainha (*Mugil* sp.).

Ramos et al. (2017), em um inventário da ictiofauna realizada no Rio Jaguaribe, em João Pessoa-PB, revelou um total de 21 espécies de peixes, destacando que a Tilápia (*Oreochromis niloticus*) não é nativa desse ambiente lótico. Comparando com o relato dos ribeirinhos entrevistados, apenas oito espécies estavam dentro da lista de espécies encontradas pelos autores entre os anos de 2017 a 2018 no Rio Jaguaribe, sendo eles: Cará, Guaru, Piaba, Sarapó, Muçum, Traíra, Tilápia e a Tainha. Já Beltrão (2020), estudando os peixes como indicadores dos canais do Bessa, que desaguam no Rio Jaguaribe, no curso natural (e não no desviado), registrou sete espécies, dentre elas o Muçum, a Piaba, o Guaru e a Traíra.

No entanto, quando realizada a análise de diferença entre os peixes citados logo quando os entrevistados iniciaram a sua moradia, em 2019, antes do biotratamento e após o biotratamento, a maioria dos peixes foram citados na comunidade Tito Silva, principalmente

pelo **TS18**, que é pescador e utilizou os recursos da pesca no Rio Jaguaribe, antes mesmo da poluição.

Nas palavras de **TS18**, ele disse sobre os peixes quando o rio era limpo, quando ele iniciou sua morada no local:

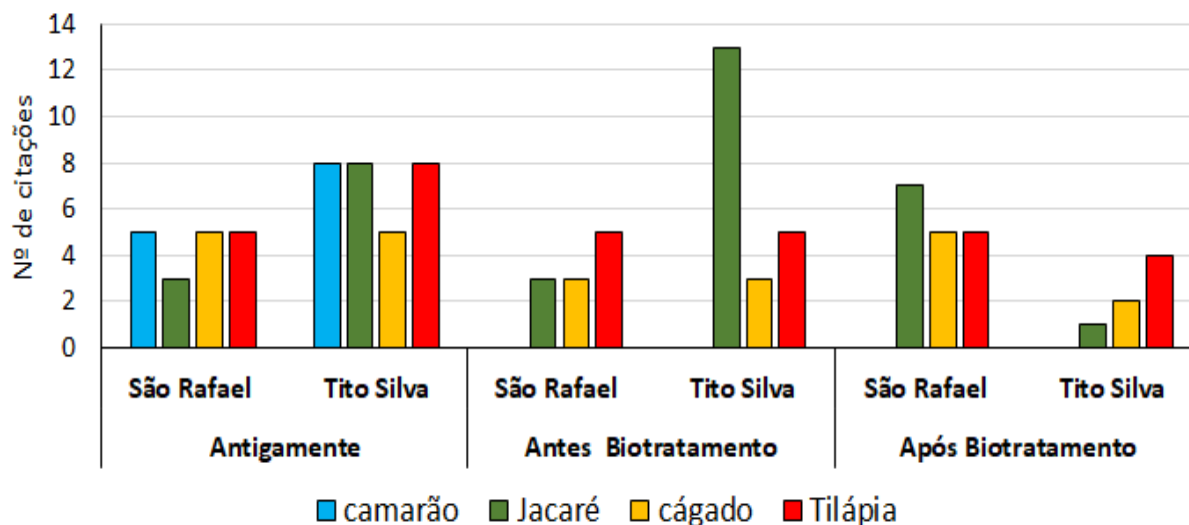
“Eu presenciei, quando tinha uns 9 anos de idade, que o rio era bastante viscoso, tinha muito peixes, camarões, meu avô e meus pais a gente sobrevivia disso, aqui da beira do rio nós pescávamos com covos e toda manhã cedo a gente pegava camarão, bastante. Eu pegava mais a minha mamãe e o meu papai, às vezes nós saíamos com a redinha de 10 m cercava ao lado daqui próximo da ponte e enchíamos a bacia de lavar roupa de tilápia, o acará, o piau, a piaba, o sarapó, que não conhecem o que é um sarapó, tinha uma diversidade de peixes aqui, guaru, kidungues (quindundes), inclusive chegamos até a pegar peixes lá do mar que eles vinha até aqui como o camorim, a tainha, carapeba. Pegamos aqui nessa região tão distante, mas que era assim, agradável, água limpa, tomávamos banho, não tinha problema de saúde, era um areal. Tinha traíra, a piaba, tilapo japonês, na época tinha, mas hoje não vejo mais, que era preto com olhos vermelhos na lateral, a taicica, o papa-terra, o siri, camarão, não tinha o jacaré na minha infância, mas a paca, a lontra (ariranha), cotia, cágado. Agora de uns 20 anos pra cá, é que a gente começou a perceber que o que proliferou na poluição foi a sobrevivência do jacaré, do cágado, e daquela tilápia e a carpa daquela branca/rosada, os demais sumiram”.

O ator social **TS5** também fala sobre a época antiga e os animais que lá podiam ser encontrados: “Via peixes, camarão, a gente botava covo, muçum, traíra, tilapo, uns passarinhos, papa-capim, pulera, bigode, todos esses passarinhos que hoje não tem mais, porque acabou a alimentação dele. Tinha até Goiamum”.

Dentre os animais mais citados, o Jacaré de papo amarelo (*Caiman latirostris*) foi o mais citado e o mais frequente nos relatos dos moradores, com número máximo de 13, seguido da Tilápia, que também foi frequente na percepção dos moradores, com máximo de 8 vezes citado, em época antiga. O Camarão, também atingindo 8 citações, só foi percebido em época antiga, não sendo mais visto no Rio Jaguaribe devido à poluição (Figura 3.15).

Figueiredo (2017), no seu trabalho com a comunidade São Rafael, disse que no início da ocupação desta, o rio tinha uma grande quantidade de peixes que serviam para subsistência dos moradores, e, além disso, era usado como lazer, e as mulheres usavam também para lavagem de roupas. Com o decorrer do tempo o rio passou a ser vítima da poluição, e da liberação dos dejetos do esgoto, não só da própria comunidade, mas também de comunidades vizinhas, e que ao longo do tempo a quantidade de animais existente ali, foi diminuindo até que hoje não se encontra nenhum peixe.

Figura 3.15. Animais mais citados entre os ribeirinhos nas comunidades São Rafael e Tito Silva, ambos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Não se pode deixar de mencionar que a poluição em rios e riachos pela liberação direta de resíduos sólidos, que acabam provocando a morte de peixes, a disseminação de patógenos, mau cheiro e contaminação dos recursos hídricos (TUNDISI, 2003; ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011).

Corroborando com a informação acima, Pinheiro (2004), observou nas respostas fornecidas pela população ribeirinha do Rio Piraí, Joinville-SC, com relação a conhecimentos práticos com a Ictiofauna, que onde havia atividade antrópicas nesse ambiente lótico, percebeu-se também uma diminuição de peixes por parte dos entrevistados.

Após dois meses da implantação do Biotratamento, **SR3** diz:

“Nota 10. Galinha d’água, socó. Poucos acreditam porque não param pra olhar, mas a gente percebe que os animais, os pássaros estão vindo. Aquele gases malcheirosos foi embora, aí acho que começou a sair mais insetos, mais peixes que o socó pesca, mais garça, tem dia aqui que tem dez a doze garça”.

Já o **TS18**, que é pescador, disse:

“Eu vi aproximação (de peixes), vi peixes, de várias espécies que eu percebi. Que mesmo sem estar pescando, mas como o rio está raso e limpou bastante, ninguém via o fundo do rio, e hoje podemos ver claramente quando a luz do sol bate, que tem várias qualidades de peixes. Hoje, com pastas, ou sem pastas, eu vejo mudanças. Hoje, com pastas, vejo mudanças. Antes com pastas, não tinha nenhuma mudança, não via nada que digamos de vida. Hoje a gente pode perceber as garças, que vem se alimentar, houve até uma qualidade de peixe até que não existia na época, daqueles peixes que chamam (tu vendo a tilápia, o guaru, o quindunde, traíra ainda não vi), que não via nesta época... a curimatã, tem bastante. Eu até fiquei pasmo, eles se movimentando. E as pessoas tem vontade de pegar, mas pelo lado positivo, pelas pessoas reconhecerem que o rio é poluído, elas não se atrevem a pescar. Isso aumentou a reprodução de todos os peixes. Mas que nós temos que agradecer ao tratamento, né”.

Já **SR5** disse “O peixe vê a água limpa, e ele vem atrás de comida. Ele veem quando está saudável, acho que eles percebem quando a água está saudável e dá pra ele”.

Esses relatos corroboram com os resultados de Marinho (2018) e Crispim et al. (2019), que detectaram melhoria da qualidade ecológica do Rio Cabelo, resultando em aumento da riqueza específica de peixes após a colocação de substratos artificiais, principalmente registrada no curso médio e na foz do Rio do Cabelo, com o aumento de 6 para 15 espécies.

Apesar dos relatos dos entrevistados sobre o aparecimento de animais após o Biotratamento, com aparente diferença entre o antes e o depois, não houve diferença significativa sobre a percepção de aparecimentos de peixes e outros animais com o Biotratamento, como mostrado na Tabelas 3.2 e 3.3. Entretanto, essas diferenças foram significativas entre a época antiga e o antes do biotratamento, por conta da intensificação dos impactos antrópicos negativos já discutidos.

Tabela 3.2. Resultado do teste de qui-quadrado para as citações de animais citados pelos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB.

		X ²	df	P
Grupos	Antes x Depois	0	1	1.000
	Chegada x Antes	1	1	0.517
	Chegada x Depois	1	1	0.517
Espécies	Antes x Depois	0.72	1	0.514
	Chegada x Antes	9.75	1	0.003
	Chegada x Depois	5.46	1	0.002

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 3.3. Resultado do teste de qui-quadrado para as citações de peixes pelos ribeirinhos entrevistados do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB.

		X ²	df	P
Peixe	Chegada x Depois	5	1	0.062
	Antes x Depois	0.69	1	0.584
	Chegada x Antes	5	1	0.035

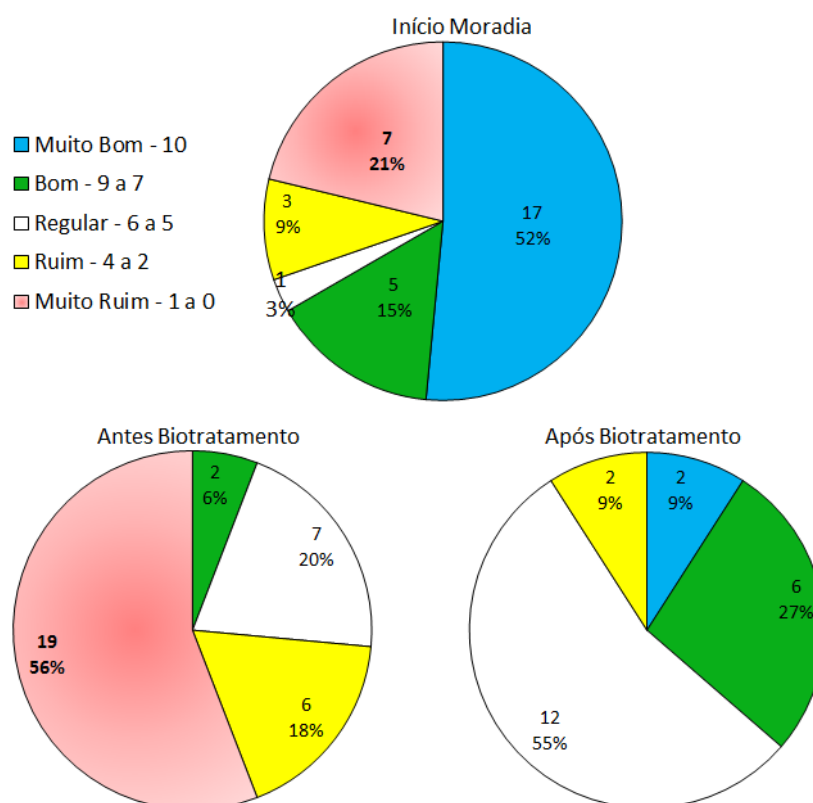
Fonte: Dados da Pesquisa.

3.3.5. Nota atribuída ao Rio Jaguaribe pelos ribeirinhos

A respeito das notas dadas ao Rio Jaguaribe pelos ribeirinhos no início, quando chegaram ao local para a moradia, em ambas as comunidades, houve 50% de respostas de que o rio era muito bom naquela época e que merecia nota dez. Na São Rafael, as categorias bom e ruim tiveram 20% cada, enquanto que 27% das respostas na Tito Silva disseram que o Rio Jaguaribe era muito ruim (Figura 3.16). A justificativa para esses moradores que chegaram ao local para morar a partir do ano de 2005, cuja realidade era já estar convivendo com um rio poluído.

Sobre o mesmo tipo de avaliação ao Rio Jaguaribe, só que nos tempos atuais, antes do Biotratamento, a maioria das respostas foi de que a situação dele era muito ruim, 64% foi dito na Comunidade Tito Silva, seguido de 18% de respostas de que o Jaguaribe estava em situação regular. Enquanto isso, 46% dos entrevistados na comunidade São Rafael responderam que o ambiente lótico estava muito ruim e outros 27% de que estava regular. Houve quem respondesse que o rio estaria em situação muito boa, como mostra a Figura 3.16.

Figura 3.16. Notas atribuídas ao Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, pelos ribeirinhos entrevistados no início da moradia, antes do Biotratamento e após o Biotratamento por perifíton, entre os meses de abril e dezembro de 2019.



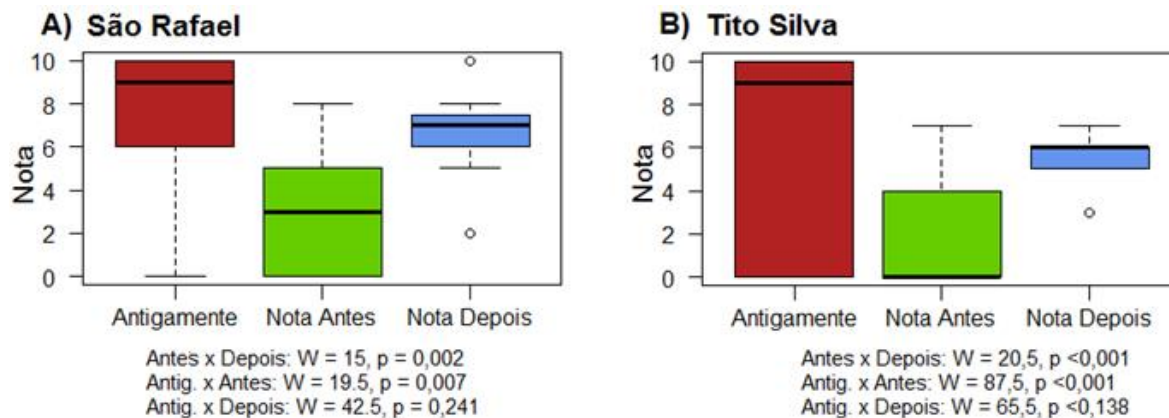
Fonte: Dados da Pesquisa.

Este resultado de que a situação desse rio fosse a pior possível na percepção dos moradores ribeirinhos já era esperado, pois se justifica pelos vários relatos e fatos de que há esgoto, lixo e poluição, de forma geral, no leito do Rio Jaguaribe.

Entretanto, quando confrontados novamente com a pergunta sobre que nota dariam ao Rio Jaguaribe após a Biorremediação por perifíton, os ribeirinhos não mais mencionaram a pior nota (ou a pior situação “muito ruim”). Ao contrário, houve uma melhora na avaliação após a intervenção do experimento *in situ*, a jusante dos módulos. Na São Rafael, houve 46% de respostas de que esse rio estaria Bom, seguido de 27% de que o rio estaria “regular”, com uma nota de 6 a 5. Já na Tito Silva, houve a predominância da avaliação do tipo Regular (78%).

De acordo com a situação das notas atribuídas ao Rio Jaguaribe pelos entrevistados, houve diferenças significativas das respostas tanto do antes e após a intervenção do Biotratamento, como da época antiga e o antes do biotratamento, mostrado na Figura 3.17.

Figura 3.17. Diferença das notas atribuídas ao Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, ao iniciar a morada próximo ao Rio; antes e depois do biotratamento por perifíton: (A) São Rafael - P3; (B) Tito Silva - P4.



Fonte: Dados da Pesquisa.

A respeito da nota sobre se os ribeirinhos aprovavam o experimento de biorremediação pelo perifíton, em ambas as comunidades, houve 100% de aprovação, querendo que haja continuidade com esse projeto. No entanto, sugeriram uma maior articulação com a associação dos moradores para que mais pessoas da comunidade se engajassem no projeto.

3.4. CONCLUSÃO

Os ribeirinhos entrevistados perceberam, de forma positiva e significativa, as mudanças ocorridas no Rio Jaguaribe após a implantação dos módulos de Biotratamento por perifíton, informando principalmente sobre a diminuição dos gases mau cheirosos (odor), o aumento da transparência da água a jusante dos módulos e no aparecimento de mais peixes e outros animais no local, o que não era visto há muito tempo pelos moradores. Essas informações confirmam a hipótese de que seria perceptível as mudanças ocorridas após a Biorremediação.

Os entrevistados puderam perceber as mudanças a jusante dos módulos de biotratamento que começaram a ocorrer com 15 a 20 dias após a implantação desses módulos. Mesmo a interrupção do experimento por parte da dragagem inesperada na Comunidade São Rafael, no final de novembro de 2019, não impediu que os moradores informassem o que foi percebido de alterações na qualidade da água no Rio Jaguaribe. Entretanto, mesmo com essas mudanças percebidas localmente, grande parte dos entrevistados ainda não confiam totalmente na melhora da qualidade da água do rio por parte da Biorremediação pelo perifíton, evitando um uso do rio tanto para recreação ou atividades domésticas, mesmo que tenham percebido o aumento na atividade da pesca, principalmente na Comunidade São Rafael.

A hipótese da pesquisa de que os moradores não utilizam mais o Rio Jaguaribe também foi aceita.

REFERÊNCIAS

- ALVES, P. S. **Percepção ambiental como instrumento para ações educativas e políticas públicas: o caso do Pico do Jabre, Paraíba, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Campina Grande, Patos, Paraíba, 84 f, 2012.
- ANTUNES, C.M.M.; BITTENCOURT, S.C.; RECH, T.D.; OLIVEIRA, A.C.. **Qualidade das águas e percepção de moradores sobre um rio urbano.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 32: 75–87, 2014.
- ANTUNIASSI, U.R.; VELINI, E.D.; MARTINS, D.. **Remoção mecânica de plantas aquáticas: análise econômica e operacional.** Planta daninha, Viçosa, 20: 35-43, 2002.
- ARAÚJO, M.O.L.; MOURA, M.O.; SILVA, D.A.M.; SILVA, T.S.; SILVA, N.T.; CUNICO, C.. **Participação social para ações de redução de riscos de desastres na comunidade Tito Silva, João Pessoa – PB.** REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA, 13(1): 45–55, 2019.
- AUGUSTO, M. R.. **Modelagem matemática da emissão e dispersão do gás sulfídrico aplicada ao tratamento anaeróbico de águas residuárias.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 109 f, 2015.

BARBOSA, I. A.A.; KAN, A. **Avaliação dos impactos dos gases sulfídrico e metil mercaptana emitidos pelo rio Belém em Curitiba-PR**. Portal de Revistas do Centro Universitário Curitiba (UNICURITIBA) - Administração de Empresas em Revista, 14(15): 1-30, 2015.

BELTRÃO, G.B.M. **Caracterização dos Canais do Bessa (João Pessoa-PB), utilizando os peixes como indicadores de conservação**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal da Paraíba. 2020.

BONIFÁCIO, K. M.; ABÍLIO, F. J. P. **Percepções ambientais dos educandos de escolas públicas – caso bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, Paraíba**. REDE – Revista Eletrônica do Prodeema, 5(2): 32–49, 2010a.

BONIFÁCIO, K. M.; ABÍLIO, F. J. P. **“O progresso vem, mas acaba coma natureza”**: o rio Jaguaribe na visão dos moradores residentes no seu entorno, João Pessoa, PB. REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado de Educação Ambiental, 25: 303–314, 2010b.

COELHO, J.C.. **Macrófitas aquáticas flutuantes na remoção de elementos químicos de água residuária**. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, 76P., 2017.

CRISPIM, D. L., LEITE, R. P., CHAVES, A. D. C. G., MARACAJÁ, P. B., BARBOSA, R. C. A., CAJÁ, D. F. **Diagnóstico ambiental do rio Piancó próximo ao perímetro urbano da cidade de Pombal- PB**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, n.7, v. 3, p. 01-06, 2013.

CRISPIM, M. C.; ANTÃO-GERALDES, A. M.; OLIVEIRA, F. M. F.; MARINHO, R. S.; MORAIS, M. M... **Potencialidades da Implementação de Biorremediação na Reabilitação de rios**: Dados Iniciais e Considerações, p. 278 - 295, in: ROQUE, A. C.; PAULA, D. P.; DIAS, J. A.; FONSECA, L. C.; RODRIGUES, M. A. C.; ALBUQUERQUE, M. G.; PEREIRA, S. D.. Saindo da zona de conforto: a interdisciplinaridade das zonas costeiras, Rio de Janeiro: FGEL-UERJ (Rede BRASPOR; tomo VIII), 543 p, 2019.

DOTY, L. R.; CAMERON, L. E. **Sex differences and reproductive hormone influences on human odor perception**. Physiology and Behavior, 97: 213 - 228, 2009.

ESTEVES, F.A.; AMADO, A.M. Nitrogênio, 239 – 258pp. In: Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.

ESTEVES, F.A.; MEIRELLES-PEREIRA, F.. Eutrofização Artificial, 625 a 655pp. In: ESTEVES, F.A.. Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.

ESTEVES, F. A.; PANOSSO, R.. Fósforo, 259 a 281pp. In: ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p., 2011.

FIGUEIREDO, K. P. **Vulnerabilidade socioambiental na comunidade São Rafael em João Pessoa-PB**. Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Paraíba, p. 37, 2017.

FREITAS, L. S. DE; CESAR, J.; OLIVEIRA, R. S.. **A Falta de saneamento e o impacto ambiental em rios urbanos**. XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba, p. 1 – 6, 2016.

GERASIMON, G.; BENNETT, S.; MUSSER, J.; RINARD, J.. **Acute hydrogen sulfide poisoning in a dairy farmer**. Clinical Toxicology, 45(4): 420–423, 2007.

LEITE, A.A. **Condições ambientais do estuário do Rio Paraíba e qualidade de vida: contribuições para gestão pública.** Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, 2020.

LIMA, A. T. S. **Colonização ficoperifítica em substrato artificial em riacho do semi-árido paraibano.** Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente- PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba/ Universidade Estadual da Paraíba, 88p., 2009.

LUCENA, M. M. A. **Percepção Ambiental por uma comunidade rural do entorno de uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), Semiárido Brasileiro.** 2010. 71 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). PRODEMA, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

MARCONDES, D. A. S.; MUSTAFÁ, A. L.; TANAKA, R. H. Estudos para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupia. p. 299-316. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Eds.) **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas.** Maringá: EDUEM, 2003.

MARINHO, R. S. A. **Biorremediação para o Melhoramento da Qualidade da Água em Rios Urbanos em João Pessoa – PB: efeitos na ictiofauna.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.

MARSARO, C.C.S.; VALENTINI, C.M.A.; FARIA,R.A.P.G.; ABIDO, A.S.. **Análise físico-química e percepção ambiental do córrego Engole Cobra no município de Cuiabá-MT.** Revista Internacional de Ciências, 7(1): 100 - 122, 2017.

MEDEIROS, M. C. S.; BARBOSA, M. P. **Percepção de risco dos ribeirinhos em áreas metropolitanas:** Estudo de caso na comunidade São José – Joao Pessoa, Brasil. Revista Espacios, 37(23): 1–14, 2016.

MINAYO, M.C.S. O desafio da Pesquisa Social. In: MINAYO, M.C.S. (Org.) **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade.** 28.ed., Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.

NUNES, E. M. poluição industrial da bacia do rio gramame e conflito socioambiental: análise da complexidade a partir dos atores, impactos e perspectivas. **Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba,** p. 171p, 2012.

OLIVEIRA, F. M. F. **Restauração de ecossistemas aquáticos a partir da biorremediação.** Tese de doutorado apresentada à Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa-PB, 230f., 2020.

PEREIRA, P. S.; PEREIRA, A. M. B.; CASTRO, C. L. F.. **Percepção dos moradores sobre a poluição do rio Cariús, município de Farias Brito, Ceará.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 20(1): 363–371, 2016.

PINHEIRO, E. **Percepção Ambiental e a Atividade Turística no Parque Estadual do Guartelá-PR.** OLAM - Ciência e Tecnologia, 4 (1): 376 -393, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA - PMJP. **PMJP conclui demolição de residências e inicia remoção de entulhos para drenagem do Rio Jaguaribe.** Acessado às 12h em 08 de janeiro de 2020 em <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/pmjp-conclui-demolicao-de-residencias-e-inicia-remocao-de-entulhos-para-drenagem-do-rio-jaguaribe/print/>> Postado em 30 de agosto de 2019.

QUEIROZ, D. R. DE A.. **Problemas ambientais decorrentes da ocupação subnormal na**

Bacia do Jaguaribe - João Pessoa - PB. Dissertação de Mestrado defendida no programa de pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, 200p., 2009.

RAMOS, T. P. A.; ROCHA, Y. G. P. C.; SILVA, M. J.; ROSA, R. S.; GOMES-FILHO, G.; SÁ-NETO, A. A.. **Ictiofauna do rio Jaguaribe, uma microbacia sob domínio da Mata Atlântica, Paraíba, Nordeste do Brasil.** Revista Nordestina de Biologia, 25(1): 01-14, 2017.

REIS, A. L. Q.; LIMA, E.R.V.; ANDRADE, M.O.; REIS, C.M.M. **Avaliação do desempenho do índice de sustentabilidade pelo *Dashboard Sustainability* nas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Cabelo e Cuiá na cidade de João Pessoa (PB).** GAIA SCIENTIA, 11(2): 177–202, 2017.

RICHARDSON, R.J.. **Pesquisa Social: métodos e técnicas.** São Paulo: Atlas, 4.ed., 424p., 2017.

SAMPIERI, R.H.; COLLADO, C.F.; LUCIO, M.P.B. **Metodologia de Pesquisa**, 5ed, Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, C. L.; SOUZA, A. S; VITAL, S. R. O; GIRÃO, O.; WANDERLEY, L. S. A. **Impactos da urbanização em bacias hidrográficas : o caso da bacia do Rio Jaguaribe , cidade de João Pessoa / PB.** Revista De Geociências Do Nordeste - REGNE, 2(ESPECIAL): 1024–1033, 2016.

SANTOS, C. L.; WANDERLEY, L. S.; VITAL, S. R. O.; GIRÃO, O. **Análise da suscetibilidade à ocorrência de enchentes e alagamento na bacia do alto/médio curso do rio Jaguaribe, João Pessoa/PB, a partir de características morfométricas extraídas de dados SRTM.** Revista De Geociências Do Nordeste -REGNE, 1(1): 37 - 49, 2015.

SCHIFFMAN, S., BENNETT, J., RAYMER, J. **Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina.** Agricultural and Forest Meteorology. 108: 213 –240, 2001.

SILVA, T. S.; CÂNDIDO, G. A.; FREIRE, E. M. X. **Conceitos, percepções e estratégias para conservação de uma estação ecológica da Caatinga nordestina por populações do seu entorno.** Sociedade e Natureza, 21(2): 23-37, 2009.

SOUZA, A.H.F.F.; ABÍLIO, F.J.P.; RUFFO, T.L.M.. Percepção ambiental de alunos de uma escola pública no entorno do açude Jatobá (Patos), sertão paraibano, 549 a 569 in: ABÍLIO, F. J. P.; FLORENTINO, H. DA S.; RUFFO, T. L. M. **Biodiversidade aquática da Caatinga Paraibana: Limnologia, Conservação e Educação Ambiental.** João Pessoa-PB: EDUEPB, 615 p, 2018a.

SOUZA, A.H.F.F.; ABÍLIO, F.J.P.; RUFFO, T.L.M.. Percepção ambiental de pescadores e múltiplos usos pelos ribeirinhos moradores do entorno do açude Jatobá (Patos - sertão paraibano), 570 a 615 in: ABÍLIO, F. J. P.; FLORENTINO, H. DA S.; RUFFO, T. L. M. **Biodiversidade aquática da Caatinga Paraibana: Limnologia, Conservação e Educação Ambiental.** João Pessoa-PB: EDUEPB, 615 p, 2018b.

SMITH, W.S.; SILVA, F.L.; BIAGIONI, R.C.. **Desassoreamento de Rios: Quando o Poder Público Ignora as Causas, a Biodiversidade e a Ciência.** Revista Ambiente e Sociedade, São Paulo, 22: 1-20, 2019.

TUCCI, C.E.M.. **Águas urbanas.** Estudos Avançados, São Paulo, 22(63): 97-112, 2008.

TUNDISI, J. G.. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez.** São Carlos-SP, editora RiMa, 2ed. p 56-60, 2003.

VIVACQUA, N. L.. **Estudo descritivo de áreas propensas à movimentação de massa em João Pessoa, Paraíba**: comunidades Santa Clara e São Rafael. Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal da Paraíba, 51p, 2016.

XAVIER, C. D. L. **Moradores do entorno do Arroio Tabuão no bairro Esperança em Panambi / RS**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Educação Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria, p. 60f, 2010.

6. DISCUSSÃO GERAL

De acordo com Reis (2016) e Reis et al. (2017), é possível identificar algumas vulnerabilidades ao longo do Rio Jaguaribe, entre as quais a degradação qualitativa da água pelo lançamento indevido e indiscriminado de efluentes domésticos sem tratamento. Cavalcanti (2003) indica que este corpo aquático realmente recebe uma elevada carga de esgoto doméstico.

O fato do Rio Jaguaribe estar em uma situação de alto impacto negativo, principalmente pela poluição orgânica antrópica ao longo do seu trajeto, faz com que não haja uma autodepuração por completo, sempre ficando no estágio de zona de decomposição e/ou zona séptica, onde a demanda de oxigênio é alta, principalmente pelos microrganismos. Dificilmente chega até a zona de recuperação ou zona não-poluída, pois sempre há uma nova carga de efluentes sendo despejada, interrompendo tal processo, o que acarreta em depleção do OD, geralmente nas áreas ocupadas pelos aglomerados ribeirinhos, que infelizmente convivem com a realidade de rio poluído.

Avarez-Junior, Paula-Junior e Gazzola (2007) comentam que a carga elevada de esgotos lançados em excesso restringe a capacidade de autodepuração do corpo aquático, resistindo apenas microrganismos anaeróbios, o que tende a tornar o ambiente lótico anóxico, que realiza a fermentação, implicando muitas vezes na produção de substâncias mau cheirosas, como sulfetos e gás metano, provocando problemas como a liberação de odores na atmosfera e também limitando a existência de peixes e outros organismos aquáticos.

O Rio Jaguaribe, com o ambiente eutrofizado, assoreado por acúmulo de matéria orgânica e por apresentar um baixo fluxo por conta da baixa diferença entre as cabeceiras e o médio e baixo curso (SANTOS, 2016), favorece a proliferação de macrófitas aquáticas, principalmente do aguapé *E. crassipes*, (conhecida entre os moradores do Rio Jaguaribe por “pasta” ou “salambaias”), que causa a diminuição da correnteza, acelerando mais ainda os processos metabólicos de degradação no sistema aquático, diminuindo os processos de produção primária que ocorrem na coluna de água.

Essas macrófitas aquáticas flutuantes, durante o período estudado, foram encontradas sobre a superfície do Rio Jaguaribe no final dos anos de 2017, 2018 e 2019, o que agravou ainda mais o processo de retroalimentação positiva da eutrofização, pois impede que a luz solar penetre na coluna de água do rio, sem permitir a fotossíntese do fitoplâncton e do perifíton e não produzindo o OD dentro do rio, o que acaba liberando o fósforo na água, e com depósito maior de matéria orgânica no sedimento, estimulando ainda mais o processo de decomposição

anaeróbica, produzindo mais gases metano, pelas bactérias metanogênicas, e sulfídrico, pelas bactérias redutoras de sulfato (ESTEVES et al., 2011; ESTEVES; FIGUEIREDO-BARROS; PETRUCIO, 2011), resultando no mau-cheiro detectado pelos entrevistados.

A proliferação dessas plantas em quase todo o leito do Rio Jaguaribe, que apresenta em toda a sua extensão diversas áreas que se encontram totalmente cobertas por elas, contribui para a desoxigenação do rio (SANTOS et al., 2016), em virtude das mesmas terem folhas aéreas, logo, o oxigênio produzido vai para a atmosfera e não para a água. Também impedem que haja uma zona fótica no rio, fazendo ocasionar sombreamento para a água, impedindo que as microalgas, tanto do fitoplâncton quanto do perifíton, realizem a fotossíntese por falta de entrada de luz na coluna de água, diminuindo, assim, o oxigênio dissolvido da água.

Entretanto, quando essas plantas se encontram em pequena quantidade, devido à capacidade de absorção de nutrientes, possui uma grande utilidade na despoluição de esgotos. Isso foi verificado por Sousa (2015), que analisando o efeito dessas plantas em água de Estação de Tratamento de Esgoto, verificou que elas eram muito eficientes na remoção de compostos fosfatados e na diminuição da condutividade. No entanto, o perifíton era mais eficiente na diminuição de compostos nitrogenados. Como essas plantas absorvem muitos nutrientes, elas podem ser usadas na fitorremediação, mas há a real necessidade de haver um manejo adequado de forma a evitar o excesso de crescimento dos aguapés.

Quando essa proliferação ocorre, o risco de inundação é iminente, e a tendência é que as lideranças das comunidades ribeirinhas acionem a defesa civil para que haja a limpeza e o desassoreamento do Rio Jaguaribe. De acordo com os moradores entrevistados, isso ocorre anualmente, e a dragagem retira as pastas e a vegetação marginal, melhorando a qualidade da água do rio porque favorece o fluxo, levando consigo toda a poluição rio abaixo, além de diminuir os efeitos da enchente do rio.

O desassoreamento, portanto, é um procedimento de dragagem ou limpeza do leito do rio, no entanto isso não retira nutrientes, nem melhora a qualidade da água. Como relatado por muitos ribeirinhos, isso até pode piorar a qualidade da água, por remexer no sedimento liberando nutrientes. Por isso é tão comum após a dragagem aumentar rapidamente as plantas aquáticas de novo. Dessa forma, apenas dragar o rio, colocando o material dragado nas margens e tirando as plantas, é apenas um paliativo para evitar enchentes. No entanto, o risco de enchente não se resume ao rio e está associado também ao volume de chuvas, ao escoamento superficial, à impermeabilização do solo, às condições dos tributários (e.g. córregos, afluentes do rio principal), entre outros (SMITH; SILVA; BIAGIONI, 2019).

De acordo com Lima (2008), para a concepção do projeto de dragagem, alguns cuidados devem ser tomados, tais como: a) identificação e quantificação do material a ser dragado, importante fator para definição do local de deposição, que afeta diretamente o custo de execução do empreendimento; b) identificação de características físicas e químicas do sedimento a ser dragado, o que novamente influencia o local de deposição do sedimento; c) identificação de ribeirinhos, ambientais e institucionais envolvidos; d) identificação de alternativas de deposição do material dragado; e) elaboração de plano de dragagem; f) escolha do tipo de equipamento a ser utilizado.

No presente trabalho, tem-se visto que o critério “d” supracitado não é atendido quanto ao desassoreamento do Rio Jaguaribe por parte da Defesa Civil, e o sedimento aquático retirado do fundo, rico em matéria orgânica (CAIN; BOWMAN; HACKER, 2018), é depositado na margem. Com isso, todos os poluentes retornam ao ambiente aquático durante o período de chuvas. Vale ressaltar que a dragagem nos Pontos 3 e 4 ocorre geralmente antes do período chuvoso, já demonstrando que o principal objetivo é prevenir enchentes e não contribuir com a melhoria do rio.

Smith; Silva; Biagioni (2019) dizem que um detalhe muito importante a ser considerado quanto às iniciativas de desassoreamento é que os rios, na maioria das vezes, não estão mortos, pois apresentam biodiversidade, de forma que a realização de intervenções para remoção de bancos de areia ou dragagem traz consequências irreversíveis para inúmeras espécies, sem contar que a realização do desassoreamento em pequenos trechos, desde que devidamente licenciado e acompanhado de criterioso monitoramento ambiental, ocorre de forma paliativa, mas não soluciona o problema.

Assim, é possível inferir que a dragagem de rios impacta de forma negativa a biota aquática e pode resultar em outros problemas, como, por exemplo, riscos de inundação a jusante devido ao aumento de fluxo da água, aceleração dos processos erosivos, destruição dos habitats naturais de espécies e prejuízo às espécies mais sensíveis (SMITH; SILVA; BIAGIONI, 2019).

Ainda de acordo com os mesmos autores, o procedimento de desassoreamento resulta ainda em: (i) uniformização do leito dos corpos hídricos, (ii) aumento do material particulado em suspensão e turbidez da água; (iii) mudança da composição do substrato; (iii) danos ao nascimento de juvenis de espécies de peixes devido à remoção do substrato utilizado ao longo do ciclo de vida; (iv) o material particulado fino pode afetar a criação e incubação da ictiofauna, devido à redução de habitats e preenchimento dos espaços intersticiais; (v) impactos no sistema de respiração da ictiofauna; (vi) redução da produtividade primária em função da redução de

luz no ambiente aquático; (vi) redução da capacidade de predação de algumas espécies devido à turbidez; (vii) redução da abundância de macroinvertebrados e modificação da estrutura de suas comunidades.

Em relação aos macroinvertebrados, os bioindicadores de má qualidade ambiental (Chironomidae e Oligochaeta) foram dominantes em todos os pontos. Esses também indicaram pelo índice BMWP e pelos índices de diversidade e equitabilidade que a condição do Rio Jaguaribe está como “Péssima” em todos os pontos estudados, exceto no Ponto 3, cujo BMWP indicou situação como “Ruim”. Isso corrobora a percepção dos moradores, que alegaram que o rio perdeu muita qualidade ao longo do tempo.

Possivelmente, no presente trabalho, esse é o reflexo diante de alterações antrópicas periódicas na qualidade da água e do sedimento nos pontos estudados. Também está relacionado com o fato de ter-se reduzido o número de espécies de peixes, sobrevivendo aquelas que são as mais resistentes a ambientes eutrofizados, como a Tilápia, de acordo com a frequência que esse peixe apareceu nos relatos dos moradores. De acordo com Silveira, Logado e Pontes (2009), o ideal é que as concentrações de OD estejam entre 2 a 7 mg.L⁻¹, pois abaixo disso, somente as espécies tolerantes, como a tilápia do nilo, são as que melhor resistem a hipoxia.

Barbosa et al. (2017) os entrevistados da zona rural de Goiás também perceberem que as mudanças ambientais e os principais impactos ocasionaram a perda da integridade ambiental regional, afetando os riachos, além de destacarem, também a diminuição e/ou desaparecimento de algumas espécies de peixes. Por estes organismos serem mais sensíveis à falta de oxigênio e serem os mais utilizados como recurso nas pescas, são os mais afetados e observa-se com mais facilidade, visto que são utilizados na alimentação dos ribeirinhos, como citado nas entrevistas.

Além disso, os entrevistados relataram que percebiam o mau odor advindo do Rio Jaguaribe, principalmente em dias quentes como no verão e nos horários com temperaturas mais elevadas. O aspecto sobre esse rio, relatado pelos moradores das comunidades ribeirinhas, é de que é um escoadouro de esgoto, que não serve mais para nada, é podre.

Ao ser realizado o biomonitoramento no Rio Jaguaribe de 2017 a 2018, as concentrações de oxigênio dissolvido estiveram inferiores 4 mg.L⁻¹, nos pontos de 1 a 6. De acordo com os valores estabelecidos pelo CONAMA 357/2005, tal rio deveria estar sendo avaliado como Classe 4 (Ver Anexo 1 e 2). Entretanto, o Ponto 3, com o OD acima de 5 mg.L⁻¹, pode ser considerado como de classe 2 pelas mesmas diretrizes do CONAMA 357, baseado somente nas

análises desse parâmetro. O fósforo total também foi outro parâmetro que esteve acima das diretrizes do Conselho Nacional de Meio Ambiente.

Entretanto, com a biorremediação, houve aumento significativo do oxigênio dissolvido a jusante dos módulos de biotratamento nos pontos onde foi implantado, principalmente no P4, melhorando também o Total de Sólidos Dissolvidos (significativo somente no P1), do ortofosfato no P4 e fósforo total no P3, além das outras variáveis ambientais que apresentaram melhor situação.

O P3 foi o único ponto que não teve exatamente o mesmo ponto de coleta do monitoramento realizado no capítulo 1, pois a 100 m descendo o rio, vários pontos difusos de efluentes eram lançados diretamente nele, tornando a água do Rio Jaguaribe, naquele ponto, turva e com coloração escura, diminuindo as concentrações de Oxigênio Dissolvido e aumentando o Total de sólidos dissolvidos. Por isso, que o local de biotratamento no P3 foi diferente do ponto analisado anteriormente, pela necessidade de melhorar o ponto de chegada dos efluentes.

Após 20 dias de instalação (quando foi percebido), o perifíton já estava aderido ao substrato artificial, realizando fotossíntese e disponibilizando na coluna de água o subproduto dessa bioquímica: o oxigênio (ESTEVES, FURTADO, 2011). Esse é um elemento essencial para muitas reações químicas e o fato de aumentar o oxigênio dissolvido, por si só já melhora o ambiente, por favorecer muitas reações químicas, como as de nitrificação, diminuindo a disponibilidade de amônia e nitrito, que são tóxicos (ESTEVES; AMADO, 2011; FERMANDES; ESTEVES, 2011) e por se tornar o fósforo insolúvel, fazendo-o precipitar no sedimento aquático, pois com predomínio de condições de alta concentração de oxigênio, não favorece a solubilização dos óxidos de ferro e alumínio amorfos, o que diminui a capacidade máxima de adsorção de fósforo dos sedimentos e aumenta, assim, a biodisponibilidade do nutriente (ESTEVES; PANOSSO, 2011).

Não obstante, essa proliferação do “lodo” foi percebida pelos moradores locais, assim como o efeito da biorremediação no aumento da transparência a jusante dos módulos. Esses moradores confirmaram que a água do Rio Jaguaribe ficou mais “clara”, ao ponto de enxergarem o sedimento e os animais na coluna de água, além da diminuição do odor exalado pelo corpo aquático, o que sugere que houve melhora na oxigenação da água, tornando-o aeróbico.

Nesse caso, todos esses efeitos estão ligados com a fotossíntese do perifíton nos substratos artificiais nos módulos de biorremediação. Isso porque com a produção do oxigênio

dissolvido, importante para os processos físicos, químicos e biológicos, diretamente na coluna de água, aumenta a disponibilidade desse recurso para os peixes e outros organismos aquáticos, principalmente os microrganismos aeróbicos durante a decomposição da matéria que gera CO₂ e H₂O. O gás carbônico lançado na água por essa decomposição se torna um recurso para o perifíton, retroalimentando o processo fotossintético no fitoplâncton, que precisa de carbono para formar os glicídeos, liberando o subproduto OD na coluna de água.

Além disso, inibe os microrganismos produtores de gases fétidos. As concentrações mais elevadas de OD tendem a diminuir o processo de eutrofização, pois esse gás se liga ao fósforo, tornando essa combinação inativa para a absorção das plantas, no caso o fitoplâncton. Com isso, o fósforo fica depositado no sedimento, limitando a proliferação de macrófitas e do fitoplâncton (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011).

Com o biotratamento no Rio Jaguaribe, baseado em perifíton aderido em substrato artificial, os peixes tiveram uma alternativa de fonte de oxigênio, refúgio e recurso alimentar, visto que muitos peixes se alimentam do perifíton, o que fez com que se concentrassem próximos aos módulos. Por esse motivo, vários moradores perceberam o aumento desses animais aquáticos no local.

Milstein; Peretz; Harpaz (2010) indicam que a tilápia pasta no perifíton em ambientes naturais, ao realizar experimento com uma área de perifíton protegido de pastagem e outra sem proteção, mostrando que as não protegidas foram pastadas.

Silva (2014) diz que o perifíton é uma alternativa para a melhora da qualidade da água de cultivo, com o intuito de aumentar a produção de pescado, sugerindo que haja a utilização de substratos artificiais para a sua colonização para que seja também fonte alimentar natural dos peixes, já que o perifíton isoladamente não é capaz de propiciar boas produtividades de pescado, combinando o uso de alimentação artificial com a alimentação natural, que é o perifíton, além de fornecer condições aceitáveis dos parâmetros físicos e químicos da água de cultivo.

Isso também foi observado por Garcia et al. (2011) que concluíram que o policultivo de peixes baseado em cultura com perifíton, utilizando tubos de plástico na vertical na coluna de água como substrato, permitiu um sistema altamente eficiente e mais limpo, servindo de alimento natural para os peixes e melhorando a qualidade da água dos tanques. O mesmo foi verificado por Vieira (2018), que constatou que em experimento em cultivos de peixe usando o biofilme como biorremediador, o ambiente melhorou, ficando mais transparente, com mais oxigênio e menos nutrientes e isso refletiu-se no melhor desempenho dos peixes que

apresentaram maior comprimento e peso, demonstrando que a presença do biofilme favorece os peixes.

O surgimento de mais peixes e outros animais nos P1, P3 e P4, após a implantação da biorremediação, foi favorecido direta e indiretamente com o aumento da concentração do oxigênio dissolvido e o aumento da transparência da água foi algo que tem animado os moradores ribeirinhos, estimulando a pesca como recurso para sua subsistência ou para a economia local, principalmente na comunidade São Rafael.

Porém, a baixa declividade do Rio Jaguaribe também foi primordial, ajudando, de certo modo, a não ter um fluxo muito turbulento, e, com isso, um maior tempo de residência da água, permitindo que o biofilme pudesse agir. Mesmo assim, a corrente diminui dentro dos módulos, sendo considerado um fator importante para aumentar a eficácia do tratamento. Esse fato corrobora com o verificado por Crispim et al. (2019), que registraram dentro dos módulos uma correnteza 20x menor do que a de fora (OLIVEIRA, 2020). Isso é providencial porque um fluxo lento influencia diretamente no perifíton, favorecendo a absorção de mais nutrientes da coluna de água (RICKLEFS, 2016; SCHWARZOBOLD; BURLIGA; TORGAN, 2013).

Dessa forma, pode-se dizer que o processo de biorremediação é um procedimento simples, barato, acessível, de fácil confecção e que utiliza os organismos autóctones para realizar a degradação dos poluentes. Por isso, é uma alternativa que pode ser promovida entre os moradores das comunidades ribeirinhas, como parceiros na construção, vigilância, e multiplicadores do conhecimento, aliado à vontade política.

Embora a análise de satisfação dos moradores quanto às mudanças na qualidade da água, efetivadas pelo biotratamento, não tenha sido o foco deste trabalho, percebe-se a alegria e, ao mesmo tempo, a vontade da continuidade por parte deles, como se eles fossem responsáveis também por ajudar nas alterações da qualidade da água, localmente, quando não permitiam que alterassem o local do experimento.

Isso é muito importante, porque o envolvimento da comunidade é imprescindível numa gestão participativa. Acredita-se que da forma que as questões ambientais não são prioridade para a Prefeitura Municipal de João Pessoa, que negou apoio por diversas vezes para auxiliar na implantação do projeto, é com os ribeirinhos que se têm de fazer a gestão do rio, para que seja possível devolver um pouco de dignidade e melhor qualidade de vida para essas pessoas, que segundo o levantamento social do questionário, que em sua maioria têm baixa escolaridade.

Com essa escolaridade, haverá poucas opções para trabalho, o que se refletirá nos salários, pelo menos daqueles que têm emprego. Assim, devolver um rio menos fétido, com

mais peixes, e águas mais transparentes, é algo possível e que será tentado, sendo uma obrigação de qualquer pesquisa, retornar com os conhecimentos para a sociedade, para que possa aplicá-los.

Com a instalação de poucos módulos em pontos estratégicos do Rio Jaguaribe, houve mudanças na qualidade da água, comprovado em análises de laboratório e percebido pelos moradores ribeirinhos, onde a biorremediação por perifíton foi implantada.

Entretanto, apesar de resultados comprovados e promissores em pouco tempo de execução, foram implantados poucos módulos, o que tornou o efeito mais localmente visível. Com a quantidade aumentada de módulos ao longo do Rio Jaguaribe, desde as nascentes até à foz no Rio Mandacaru, distribuídas em distâncias de 200 em 200 metros, aumentaria muito mais a eficiência, por causa do aumento da área de contato com o perifíton, maior contribuidor para oxigenação da coluna de água nos ambientes lóticos, mas também elevando a capacidade do rio de se autodepurar.

Figueiredo (2018) e Lima (2019) usaram a fitorremediação com a *Eichhornia. Crassipes* (águapé ou baronesa) e conseguiram reduzir significativamente os nutrientes em ambientes lóticos poluídos em João Pessoa-PB. Dessa forma, comprovou que o sistema conjunto macrófita e o perifíton pode ser utilizado.

Essa ideia poderia ser utilizada em outros rios urbanos de pequeno e médio porte, que que são poluídos, tanto em João Pessoa-PB, quanto nos outros municípios do Brasil e do Mundo, pois é uma alternativa simples, barata e eficiente na mudança positiva da qualidade da água, principalmente na oxigenação da coluna de água. No entanto, para se ter uma eficaz autodepuração de um rio que recebe cargas de efluentes servidos desde a nascente até a foz, são necessárias outras ações que complementem a biorremediação. A construção de fossas ecológicas (PAES, 2014) nas comunidades ribeirinhas (TVap para águas negras e Ciclo de Bananeiras para águas cinzas) e/ou nos grandes empreendimentos que possam vir a ser construídos na área da Bacia Hidrográfica diminuiria muito a carga de poluentes despejados no rio principal, o que aumentaria mais a eficiência do biotratamento. Para isso, o apoio dos órgãos públicos responsáveis é de extrema valia.

Para diminuir as chances da *E. crassipes* (aguapé) se alastrar no rio, promovendo diversas alterações na qualidade da água, o que pode ser sentido pelos organismos aquáticos ou pela população que reside no entorno desse ambiente aquático é o incentivo ao uso de biodigestores nas comunidades ribeirinhas. Seria algo que poderia se realizar com baixo custo, usando as macrófitas aquáticas para a produção do gás de cozinha.

O uso da macrófita aquática *Eichhornia crassipes* como biomassa já foi testado em pesquisa realizada por Cordeiro e Astolfi (2013) e também por Mello (2018), mostrando a possibilidade de uso dessas plantas, visto que a biomassa proposta para o biodigestor na literatura é principalmente compostas de fezes de animais.

Além disso, seria uma alternativa para reduzir ou, quem sabe, não onerar os cofres públicos para a realização de dragagens periódicas, causando danos nas margens do rio, como o depósito do sedimento aquático, rico em nitrogênio e Fósforo, assim como o aumento da liberação de nutrientes pelo movimento dos sedimentos.

Atualmente, o Rio Jaguaribe encontra-se em situação de total descaso por parte da gestão pública, que atua somente com medidas paliativas ao realizar, periodicamente, o desassoreamento, que degrada mais do que limpa o rio. São necessárias as medidas de educação ambiental, de coleta e de tratamento real de esgotos que são lançados no Rio Jaguaribe.

De acordo com Constantino (2014), para que os rios possam ser valorizados pela população, é necessário um trabalho de sensibilização e elaboração de projetos participativos que os qualifiquem, mais do que a simples aprovação de leis e regulamentos. Sendo assim, a visualização dos rios pela população permite que sejam valorizados como parte integrante da história do lugar, oferecendo à população qualidade de vida no âmbito social, cultural e ambiental. Nesse caso, a possibilidade de aumento da transparência, dos peixes e diminuição do mau cheiro, percebido por eles após a instalação do biotratamento, é um fator de motivação para o envolvimento dos ribeirinhos nos projetos de restauração.

Ademais, a incorporação do conhecimento científico é essencial à tomada de decisões, como nos casos de intervenções no leito dos rios. No entanto, é frustrante que as informações técnico-científicas produzidas pela academia relacionadas à ecologia de rios tenham sido lentamente incorporadas às leis ambientais e, mais especificamente, às práticas administrativas, tornando o poder público mais um agente degradador do meio ambiente (DICKS; WALSH; SUTHERLAND, 2014; DOMINGUES et al., 2017). Por isso, consideram-se necessários mecanismos de aproximação entre a academia e o poder público (SMITH; SILVA; BIAGIONI, 2019).

7. CONCLUSÃO GERAL

O índice BMWP mostrou que a situação do Rio Jaguaribe se encontra como “Péssima” a “Ruim”, sendo o ponto 3 o menos impactado a jusante da ponte da Av. Pedro II, enquanto que as concentrações de oxigênio dissolvidos foram abaixo do recomendado pelo CONAMA

357/2005 em todos os pontos, exceto no P3. As análises físicas e químicas corroboram a má qualidade da água.

Entretanto, visto que a ação da dragagem/desassoreamento do Rio Jaguaribe ocorre sazonalmente, principalmente nos pontos P3 e P4, removendo o sedimento aquático e, com isso, alterando a composição e dinâmica dos macroinvertebrados bentônicos naqueles pontos, tornou inconclusivo a análise do índice BMWP para o referido rio. A Dragagem também inviabilizou a coleta/análise dos macroinvertebrados bentônicos durante os experimentos com os módulos de Biotratamento para saber se havia impacto positivo na composição desses animais (embora eles tenham sido vistos nos substratos artificiais para o perífíton, como pode ser visto no APÊNDICE 11).

Houve diferenças significativas quanto ao aumento do oxigênio dissolvido em todos os pontos, onde os módulos de biorremediação foram instalados, além da redução significativa de Total de Sólido Dissolvido no P1, redução do Nitrato e Fósforo Total no P3 e do Ortofosfato no P4. Dessa forma, houve eficiência na melhoria da qualidade da água do Rio Jaguaribe por parte da biorremediação, atuando como alternativa simples e barata para complementar a autodepuração do rio.

No geral, houve a aprovação por parte dos entrevistados sobre o experimento com a biorremediação no Rio Jaguaribe, sendo as diferenças entre as respostas sobre o uso do rio, a percepção sobre os gases malcheirosos advindos do rio e a nota atribuída pelos mesmos em relação à situação do rio, significativas pelos testes estatísticos realizados, demonstrando que os mesmos perceberam uma melhoria na qualidade da água. Isto significa que o biotratamento realmente pode trazer benefícios para o ambiente aquático e que pode ser instalado pelos próprios moradores.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do projeto ter terminado, a equipe de pesquisa do Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA) da UFPB tenciona continuar com o projeto na forma de projeto de extensão, colocando novamente os módulos na água, após a dragagem das macrófitas, que já foi realizada na Comunidade São Rafael e será na Comunidade Tito Silva. Para além disso, na tentativa de que os ribeirinhos participem de forma mais ativa, principalmente na retirada das macrófitas, pretende-se construir biodigestores que usarão as plantas como biomassa, para que tenham interesse em retirar as plantas para produção de biogás.

Como os moradores já estão sensibilizados e já percebem que o biotratamento é eficiente, esperamos que o projeto dê certo e que cada vez mais pessoas se engajem na luta contra a poluição do Rio Jaguaribe.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, H. O.; SOUZA, M.F.; ONDEI, L.S.; TERESA, F.B. **Conhecimento Ecológico Local E Percepção Dos Impactos Ambientais Por Moradores Da Zona Rural Sobre Riachos E Peixes Da Bacia Do Alto Rio Tocantins, Goiás, Brasil**. *Ethnoscintia - Revista Brasileira de Etnobiologia e Etnoecologia*, 2(1): 1–20, 2017.
- CAIN, M. L.; BOWMAN, W. D.; HACKER, S. D. **Ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018.
- CAVALCANTI, R.G. **Influência da Mata do Buraquinho sobre a qualidade da água do rio Jaguaribe**. Monografia (TCC) apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba, 55f, 2013.
- CORDEIRO, F. G.; ASTOLFI, A. C. M. N. **Avaliação do potencial de fermentação metanogênica da *Eichhornia crassipes* (aguapé)**. *Revista DAE*, 61(191): 22–28, 2013.
- CONSTANTINO, N. R. T. **Rios Urbanos no Oeste Paulista**. III Seminário nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo. 1-17 p, 2014.
- CRISPIM, M. C.; ANTÃO-GERALDES, A. M.; OLIVEIRA, F. M. F.; MARINHO, R. S.; MORAIS, M. M... **Potencialidades da Implementação de Biorremediação na Reabilitação de rios: Dados Iniciais e Considerações**, p278 a 295, in: ROQUE, A. C.; PAULA, D. P.; DIAS, J. A.; FONSECA, L. C.; RODRIGUES, M. A. C.; ALBUQUERQUE, M. G.; PEREIRA, S. D.. **Saindo da zona de conforto: a interdisciplinaridade das zonas costeiras**, Rio de Janeiro: FGEL-UERJ (Rede BRASPOR; tomo VIII), 543 p, 2019.
- DICKS L.; WALSH, J. C.; SUTHERLAND W. J. **Organising evidence for environmental management decisions: a ‘4S’ hierarchy**. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(11):.607-613, 2014.
- DOMINGUES, W.; AZEVEDO, R. F.; GOMES, L. C. **Risco ambiental decorrente de decisões carentes de suporte técnico: peixamento como “reparação de danos” por crime de pesca**. *Revista Direito Sem Fronteiras - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Foz do Iguaçu*. 1(1): 11 – 28, 2017.
- ESTEVES, F.A.; AMADO, A.M. Nitrogênio, p 239 – 258. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 2011.
- ESTEVES, F.A.; AMADO, A.M.; FIGUEIREDO-BARROS, M.P.; FARJALLA, V.F.. Carbono Orgânico, 193 a 208pp. In: ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.
- ESTEVES, F.A.; FIGUEIREDO-BARROS, M.P.; PETRUCIO, M.M.. Enxofre, 283 a 298pp. In: ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.

- ESTEVEES, F.A.; FURTADO, A.L. S.. Oxigênio Dissolvido, p 167 - 191. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790P., 2011.
- ESTEVEES, F.A.; MEIRELLES-PEREIRA, F.. Eutrofização Artificial, 625 a 655pp. In: ESTEVEES, F.A.. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p. 2011.
- ESTEVEES, F.A.; PANOSSO, R. Fósforo, p 259 – 281. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 2011.
- FERNANDES, V.O.; ESTEVEES, F.A.. Comunidade Perifítica. 447 a 460pp. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 2011.
- FIGUEIREDO, S.A. **Análise do pontencial fitorremediador e energético da biomassa das espécies Eichhornia Crassipes (aguapé) e Pistia Stratiotes (alface d'água)**. Dissertação apresentada ao Programa de pós-Graduação em energias renováveis, Universidade Federal da Paraíba, 54f, 2018.
- GARCIA, J.J.; CELIS, L.M.; VILLALBA, E.L.; MENDONZA, L.C.; BRÚ, S.B.; ATENCIO, V.J.; PARDO, S.C.. **Evaluación del policultivo de bocachio *Prochilodus mangdalenae* y tilapia *Oreochromis niloticus* utilizando superficies fijadoras de perifiton**. Med. Vet. Zoot., 58(2): 71–83, 2011.
- JAVAREZ-JUNIOR, A.; PAULA-JUNIOR, D. R.; GAZZOLA, J.. **Avaliação do desempenho de dois sistemas modulares no tratamento anaeróbico de esgotos em comunidades rurais**. Eng. Agríc., Jaboticabal, 27(3): 794-803, 2007.
- LIMA, L. R. S. **Dragagem , transporte E disposição final de sedimentos de leito de rio Estudo de caso : calha do Rio Tietê – Fase II**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 145f., 2008.
- LIMA, L.R.F.. **Fitorremediação de córregos urbano como estratégias para a restauração de rios**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba, 81f., 2019.
- MELLO, S.C.. **Uso de macrófitas aquáticas fitorremediadoras como incremento ao tratamento de esgoto e o potencial de sua biomassa na produção de biogás**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba, p. 116, 2018.
- MILSTEIN, A.; PERETZ, Y.; HARPAZ, S. **Comparison of Periphyton Grown on Different Substrates as Food for Organic Tilapia Culture**. The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh, 60(4): 243–252, 2010.
- OLIVEIRA, F. M. F. **Restauração de ecossistemas aquáticos a partir da biorremediação**. Tese de doutorado apresentada à Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal da Paraíba, *Campus I*, João Pessoa-PB, 230f., 2020.
- PAES, W.M. **Técnicas de permacultura como tecnologias socioambientais para a melhoria na qualidade da vida em comunidades da Paraíba**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 172f., 2014.
- REIS, A. L. Q.. **Índice De Sustentabilidade Em Uma Bacia Ambiental: Uma Abordagem Para A Gestão E Planejamento Da Conservação E Preservação Dos Rios Urbanos De João Pessoa (PB)**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em

Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba, 260p, 2016.

REIS, A. L. Q.; LIMA, E.R.V.; ANDRADE, M.O.; REIS, C.M.M. **Avaliação do desempenho do índice de sustentabilidade pelo *Dashboard Sustainability* nas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Cabelo e Cuiá na cidade de João Pessoa (PB).** Gaia Scientia, 11(2): 177–202, 2017.

SANTOS, C.L.. **Análise da suscetibilidade a ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa/PB.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Geografia do Centro Filosofia e Ciências Humanas da Universidade federal de Pernambuco, 107F., 2016.

SANTOS, C. L.; SOUZA, A. S; VITAL, S. R. O; GIRÃO, O.; WANDERLEY, L. S. A. **Impactos da urbanização em bacias hidrográficas : o caso da bacia do rio Jaguaribe , cidade de João Pessoa / PB.** REGNE, 2(especial): 1024–1033, 2016.

SCHWARZBOLD, A.; BURLIGA, A. L.; TORGAN, L. C.. **Ecologia do Perifíton.** São Carlos: RiMa editora, 413p, 2013.

SILVA, J. L. S. **Taxa ótima de arraçoamento de juvenis de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivados em sistema baseado em substrato artificial, em diferentes densidades de estocagem.** Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Pesca, da Universidade Federal do Ceará, p. 113f., 2014.

SILVEIRA, U.S.; LOGADO, P.V.R.; PONTES, E.C.. **Fatores Estressantes em Peixes.** Revista Eletrônica Nutritime, 6(4): 1001 - 1017, 2009.

SMITH, W. S.; SILVA, F. L.; BIAGIONI, R. C. **Desassoreamento de rios: Quando o poder público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência.** Ambiente e Sociedade, 22: 1–20, 2019.

SOUSA, C. E. **Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2015.

VIEIRA, D. M. **Aquicultura Familiar: Contribuições para a Sustentabilidade.** Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Matriz de correlação entre variáveis ambientais e os macroinvertebrados bentônicos. (Valores em vermelho foram as correlações significativas)

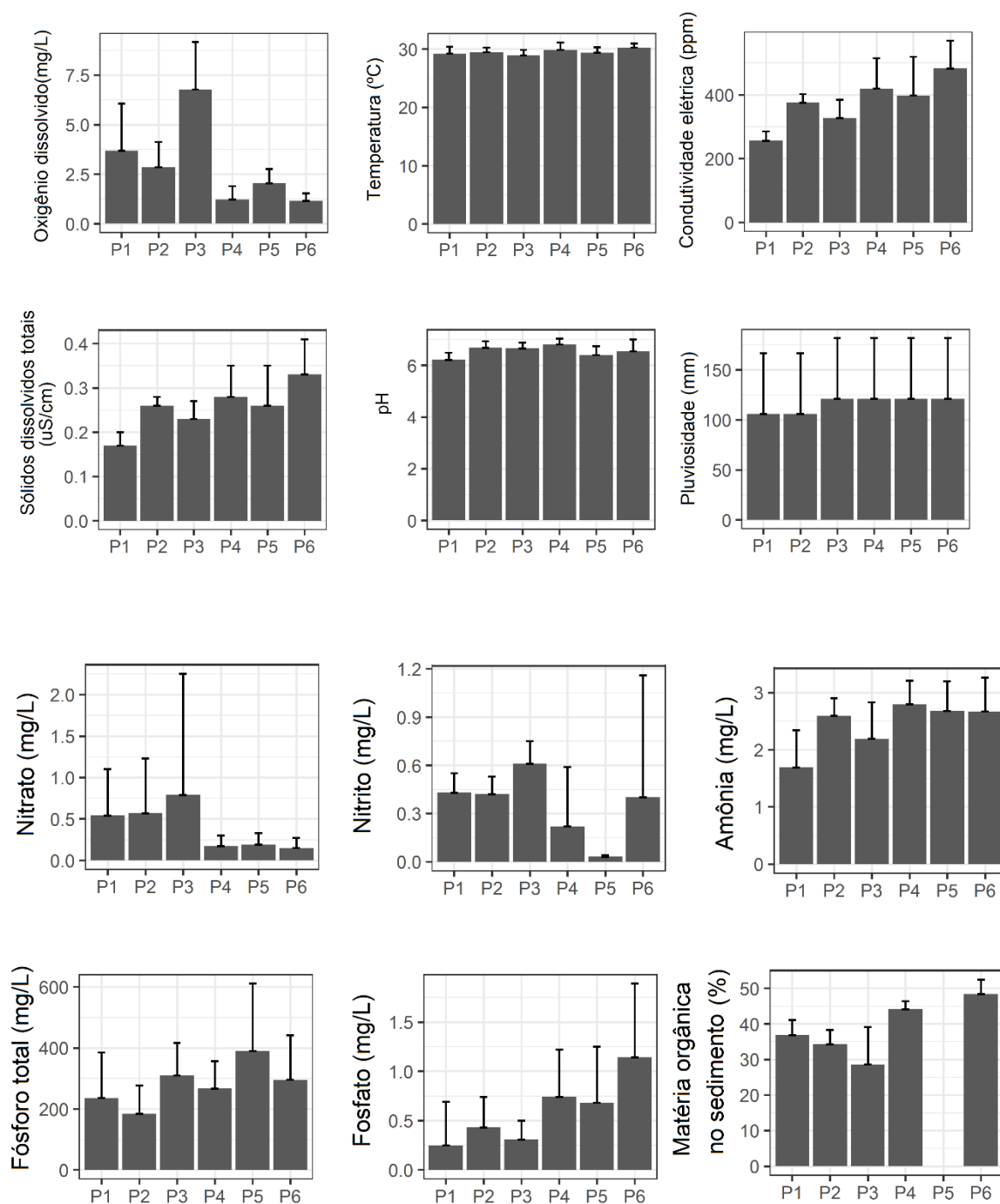
	OD	Temp	pH	CE	TDS	NO3	NO2	NH3	PO4	Ptotal	Mosed	PLUV
Riqueza	0.59	-0.29	0.04	-0.18	-0.16	0.22	0.40	0.00	-0.25	0.18	-0.56	-0.21
Diversidade	0.14	-0.02	-0.20	-0.01	-0.01	0.15	-0.32	0.07	0.23	0.13	0.18	-0.07
Equitabilidade	-0.42	0.21	0.25	0.20	0.18	-0.33	-0.03	0.01	0.14	-0.19	0.17	0.22
Dominância	0.52	-0.20	-0.13	-0.16	-0.15	0.32	0.10	0.04	-0.11	0.27	-0.26	-0.24
Chironomidae	0.17	0.20	0.19	0.15	0.15	0.27	0.20	0.28	-0.06	-0.05	0.07	-0.17
Ceratopogonidae	0.55	-0.01	0.04	-0.07	-0.04	0.05	0.35	0.00	-0.12	0.21	-0.24	0.04
Libellulidae	0.30	-0.05	-0.04	-0.05	-0.04	0.25	0.15	0.00	-0.15	0.17	-0.11	-0.07
Naucoridae	0.42	-0.03	-0.01	-0.02	-0.02	0.24	0.14	0.07	-0.08	0.06	-0.23	-0.17
Oligochaeta	0.03	0.25	0.25	0.20	0.20	0.12	0.27	0.28	-0.11	-0.09	0.10	0.09
Hirudinea	0.52	0.02	0.06	0.03	0.03	0.10	0.19	0.10	-0.08	0.09	-0.25	-0.18
<i>Depranotrema</i>	0.13	0.05	0.07	0.12	0.12	-0.03	-0.08	0.18	0.21	0.15	-0.03	-0.25
<i>B. glabrata</i>	0.35	-0.04	-0.01	-0.12	-0.08	-0.08	0.34	-0.05	-0.14	0.14	-0.20	-0.06
<i>Pomacea</i>	0.28	-0.08	-0.06	-0.11	-0.08	-0.07	0.15	-0.03	-0.08	0.02	-0.23	-0.15
<i>M. tuberculatus</i>	0.41	0.21	0.18	0.13	0.13	0.58	0.18	0.35	0.01	0.18	0.08	-0.25

APÊNDICE 2. Média geral ($\pm$ desvio padrão) das variáveis por ponto no rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, de setembro de 2017 a outubro de 2018.

	O₂ (mg/L)	Temp (°C)	Cond. Elétrica (μS/cm)	Sólidos dissolvidos totais (ppm)	pH
P1	3.68 (2.39)	29.22 (1.19)	255.67 (29.9)	0.17 (0.03)	6.21 (0.28)
P2	2.86 (1.26)	29.49 (0.74)	375.13 (27.1)	0.26 (0.02)	6.68 (0.26)
P3	6.78 (2.39)	28.94 (0.90)	326.67 (57.6)	0.23 (0.04)	6.66 (0.22)
P4	1.22 (0.68)	29.87 (1.28)	419.40 (95.5)	0.28 (0.07)	6.81 (0.22)
P5	2.04 (0.73)	29.37 (0.91)	397.47 (121.6)	0.26 (0.09)	6.40 (0.35)
P6	1.15 (0.38)	30.23 (0.71)	482.07 (87.3)	0.33 (0.08)	6.55 (0.45)

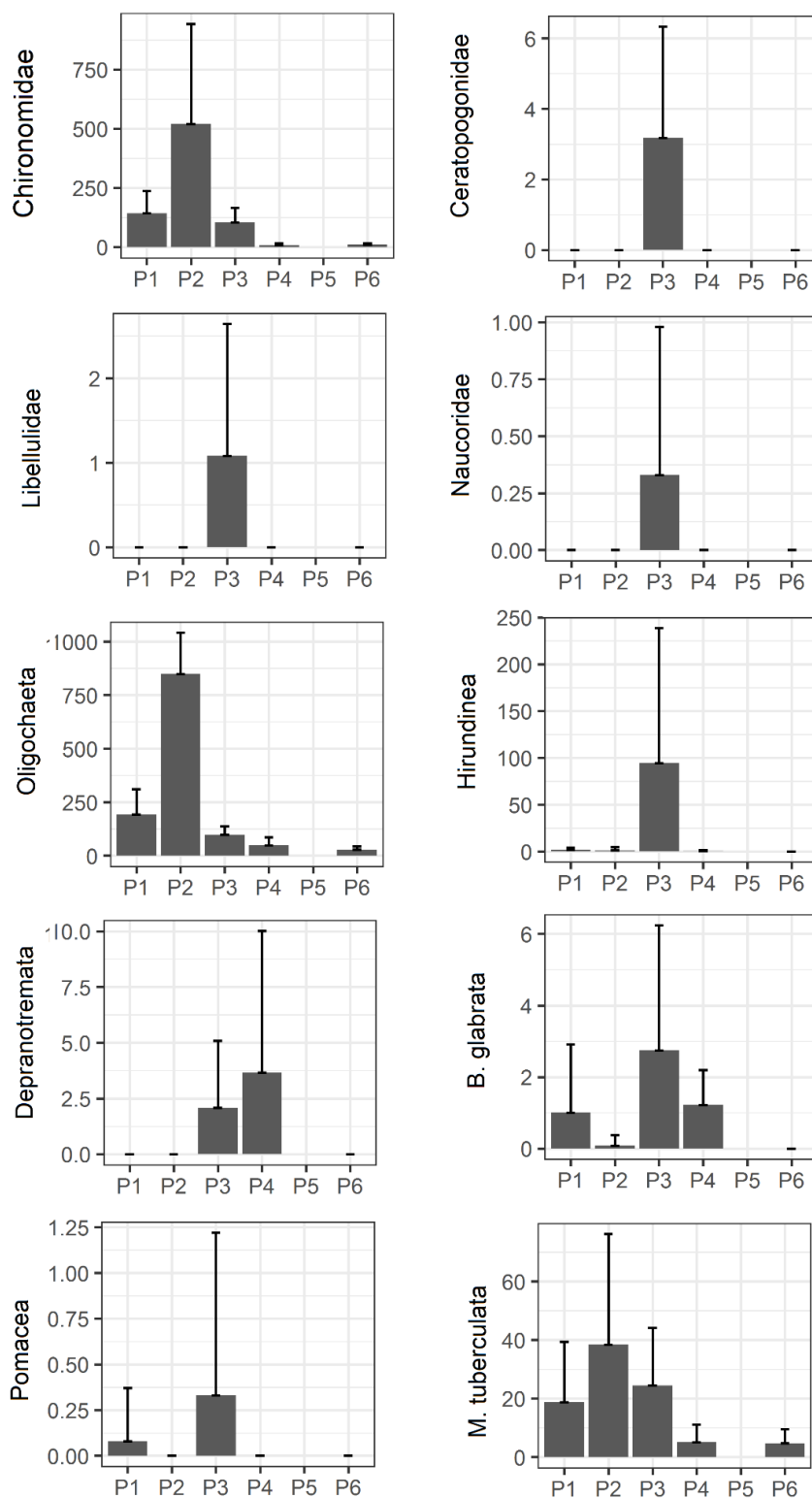
	NO₃	NH₃	NO₂	PT	PO₄	M.O. sed.	Pluvi.
P1	0.54 (0.56)	1.69 (0.12)	0.43 (0.65)	235.67 (149.1)	0.25 (0.44)	36.87 (4.21)	105.80 (60.76)
P2	0.57 (0.66)	2.59 (0.11)	0.42 (0.31)	183.17 (94.11)	0.43 (0.31)	34.33 (4.05)	105.80 (60.76)
P3	0.79 (1.46)	2.19 (0.14)	0.61 (0.64)	310.33 (105.6)	0.31 (0.19)	28.60 (10.49)	120.82 (63.13)
P4	0.17 (0.13)	2.79 (0.37)	0.22 (0.42)	266.83 (88.9)	0.74 (0.48)	44.17 (2.17)	120.82 (63.13)
P5	0.19 (0.14)	2.68 (0.01)	0.03 (0.52)	389.83 (221.0)	0.68 (0.57)	NA	120.82 (63.13)
P6	0.15 (0.12)	2.67 (0.76)	0.40 (0.59)	295.83 (145.5)	1.14 (0.75)	48.33 (4.06)	120.82 (63.13)

APÊNDICE 3. Médias, por ponto, das variáveis ambientais do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB e da pluviosidade desta cidade.



Fonte: Dados da Pesquisa.

APÊNDICE 4. Média geral dos Macroinvertebrados Bentônicos obtidos no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, entre setembro de 2017 a outubro de 2018.



Fonte: Dados da Pesquisa.

APÊNDICE 5. Média geral ($\pm$ desvio padrão) dos Macroinvertebrados Bentônicos e dos índices Biológicos obtidos no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, por ponto.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Chironomidae	142.17 (95.5) ^{ab}	521.2 (421.9) ^a	104.58 (61.3) ^b	8.89 (6.81) ^c	NA	10 (6.32) ^c
Ceratopogonidae	0 ^a	0 ^a	3.17 (3.16) ^b	0 ^a	NA	0 ^a
Libellulidae	0 ^a	0 ^a	1.08 (1.56) ^b	0 ^a	NA	0 ^a
Naucoridae	0	0	0.33 (0.65)	0	NA	0
Oligochaeta	192.67 (118.5) ^a	848.67 (193.5) ^b	98.17 (38.8) ^a	48.11 (38.8) ^c	NA	29.17 (14.94) ^c
Hirudinea	1.75 (3.19) ^a	1.25 (3.19) ^a	94.42 (143.9) ^b	0.44 (1.0) ^a	NA	0 ^a
Depranotrema	0 ^a	0 ^a	2.08 (3) ^b	3.67 (6.34) ^b	NA	0 ^a
B. glabrata	1 (0.29) ^{ab}	0.08 (0.29) ^a	2.75(3.49) ^b	1.22 (0.97) ^{ab}	NA	0 ^a
Pomacea	0.08 (0.0)	0	0.33 (0.89)	0	NA	0
M. tuberculatus	18.83 (20.45) ^{abc}	38.33 (37.85) ^{ac}	24.42 (19.7) ^a	5.11 (6.01) ^{bc}	NA	4.67(4.79) ^b

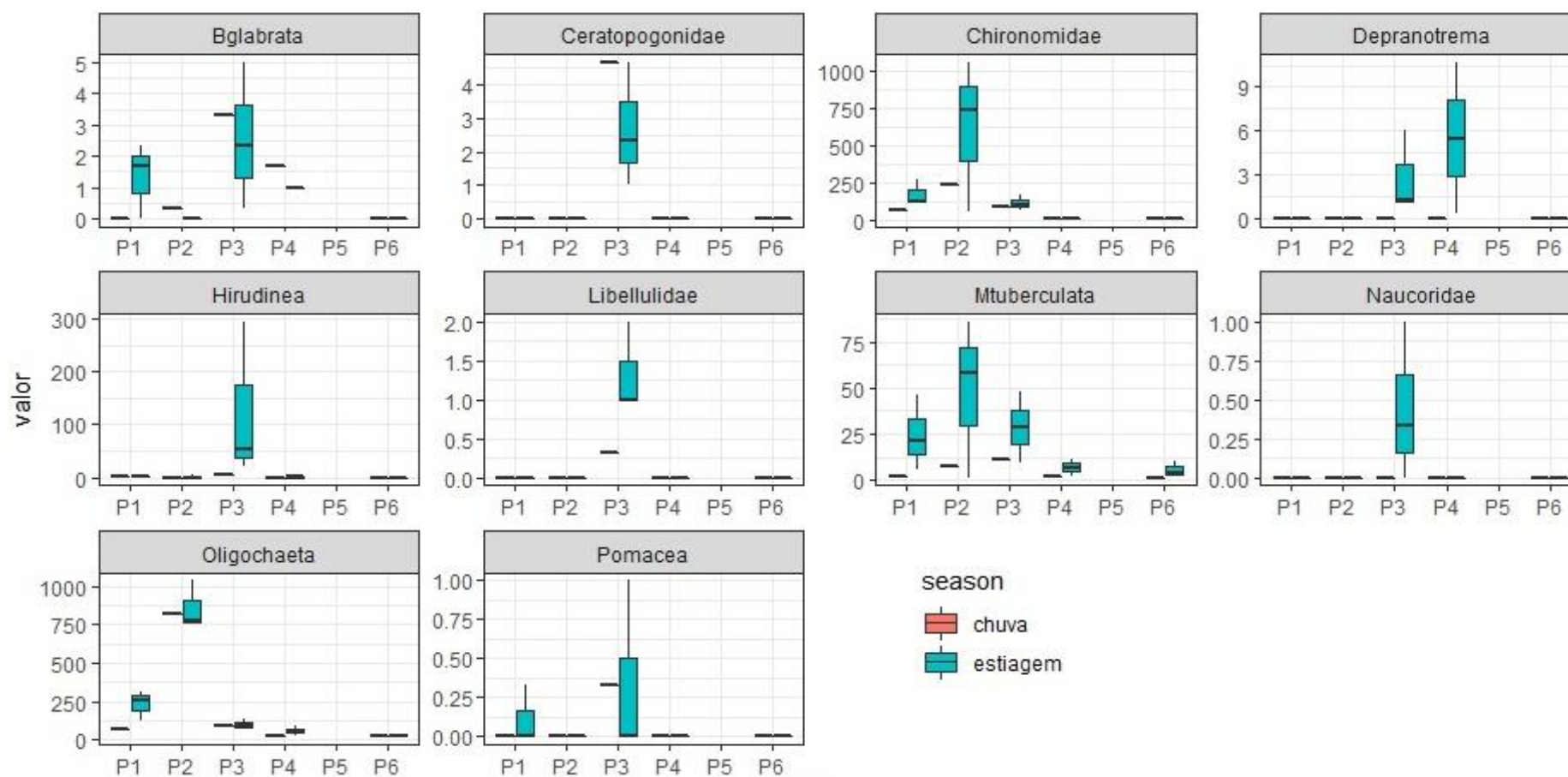
* Letras iguais em pontos diferentes: nenhuma diferença significativa encontrada.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Riqueza	3.91 (0.90) ^a	3.25 (0.62) ^b	7.08 (1.31) ^c	4.33 (1.0) ^a	NA	2.83 (0.38) ^b
Diversidade	0.80 (0.18) ^a	0.60 (0.27) ^a	1.18 (0.14) ^b	0.78 (0.26) ^a	NA	0.71 (0.17) ^a
Equitabilidade	0.61 (0.18)	0.51 (0.20)	0.61 (0.08)	0.54 (0.16)	NA	0.72 (0.18)
Dominancia	0.51 (0.12) ^{ab}	0.62 (0.18) ^a	0.38 (0.06) ^b	0.59 (0.13) ^a	NA	0.56 (0.12) ^a

* Letras iguais em pontos diferentes: nenhuma diferença significativa encontrada.

Fonte: Dados da Pesquisa.

APÊNDICE 6. Média dos Macroinvertebrados Bentônicos, por ponto, obtidos no Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, na estação de chuvas e de Estiagem, entre os meses de setembro de 2017 a outubro de 2018.



Fonte: Dados da Pesquisa.

APÊNDICE 7. Médias e desvios-padrões (em parênteses) a montante e jusante dos módulos de Biotratamento por perifíton no rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, por ponto, das Variáveis ambientais durante o ano de 2019. OD = oxigênio dissolvido; TEM = temperatura da água; PH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica da água; STD = Sólidos totais dissolvidos; NH3 = amônia; NO2 = nitrito; NO3 – nitrato; PO4 = ortofosfato; PT = fósforo total.

PONTO	Referência	OD	TEM	PH	CE	TSD	NH3	NO2	NO3	PO4	PT
P1	Jusante	1.5 (0.7)	29.3 (1.2)	8.9 (2.0)	0.4 (0.1)	0.2 (0.1)	2.3 (0.8)	0.1 (0.1)	1.8 (0.8)	56.1 (45.9)	301.9 (185.1)
	Montante	0.9 (0.5)	29.1 (1.3)	8.5 (1.9)	0.5 (0.2)	0.3 (0.1)	2.3 (0.8)	0.1 (0.1)	2.6 (2.4)	78.6 (41.9)	578.6 (505.4)
P3	Jusante	3.7 (0.4)	28.2 (0.4)	6.2 (0.3)	0.4 (0.0)	0.2 (0.0)	2.7 (0.3)	0.4 (0.2)	4.5 (2.2)	47.2 (17.5)	181.0 (71.1)
	Montante	3.3 (0.4)	28.2 (0.3)	6.0 (0.4)	0.4 (0.0)	0.2 (0.0)	3.0 (0.4)	0.3 (0.3)	5.0 (3.5)	61.8 (22.6)	301.8 (122.6)
P4	Jusante	3.5 (1.3)	28.0 (0.1)	6.5 (0.2)	0.4 (0.1)	0.2 (0.0)	2.6 (1.1)	0.1 (0.1)	2.6 (1.7)	55.0 (36.1)	215.7 (118.6)
	Montante	1.6 (0.4)	28.7 (0.9)	6.5 (0.3)	0.4 (0.0)	0.3 (0.1)	2.9 (0.2)	0.1 (0.1)	2.1 (1.9)	88.6 (47.4)	338.3 (89.5)

Fonte: Dados da Pesquisa.

APÊNDICE 8. Questionário semiestruturado sobre a percepção dos ribeirinhos do Rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, sobre o biotratamento



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DA PARAÍBA**
CENTRO DE CIÊNCIAS
EXATAS E DA
NATUREZA
PROGRAMA PÓS-
GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE
Aluno: **Artur Henrique
Freitas Florentino de
Souza**



ENTREVISTA Nº _____ SEMI-ESTRUTURADA
PARA MORADORES DO ENTORNO DO RIO
JAGUARIBE

BAIRRO/COMUNIDADE:

a)
b)

_____ DATA: _____

**Antes do Biotratamento () Durante o
Biotratamento ()**

PERGUNTAS GERAIS

1. De zero (pior nota) a dez (melhor nota), qual a nota que você daria quanto ao rio Jaguaribe NAQUELA ÉPOCA quando você chegou aqui na localidade? **POR QUÊ?**

- a) Muito bom – 10 () d) Ruim – 4 a 2 ()
b) Bom – 9 a 7 () e) Muito Ruim – 1 a 0 ()
c) Regular – 6 a 5 () Nota: _____

2. NAQUELA ÉPOCA, quando você chegou aqui na localidade, Você ou alguém da sua casa utilizava o rio para fazer alguma coisa?

a) SIM () Quem (caso sim)? _____ b) NÃO ()

Se sim, Qual tipo de uso?

- a) pescar () b) Beber ()
c) Tomar banho/nadar () d) Lavar Roupa ()
e) Outro ()

3. Você sentia algum gás mau-cheiroso vindo do rio NAQUELA ÉPOCA?

- a) SIM () c) Não sabe
b) NÃO () d) Não quis responder

Se SIM, em qual época do ano?

- I. VERÃO - setembro a abril = seca ()
II. INVERNO - junho a agosto = chuvas ()
III. O ANO INTEIRO ()

Caso NÃO, desde quando começou a perceber os gases malcheirosos?

_____ **Pode explicar POR QUÊ?**

4. Você via peixes e/ou outros animais neste ponto do rio NAQUELA ÉPOCA?

- a) SIM () **QUAIS?** b) NÃO () **POR QUÊ?**

5. Você percebia (ou via) muitos tipos de plantas aquáticas na água do rio naquela época?

- a) SIM () **QUAIS?** b) NÃO () **POR QUÊ?**

6. Quando foi que percebeu que a água do rio Jaguaribe começou a mudar para pior, ou seja, ficar mais poluído, na sua opinião, aqui na localidade? **POR QUÊ?**

8. ATUALMENTE, quais são os peixes ou outros animais neste ponto do rio que você vê?

- a) SIM () **QUAIS?** b) NÃO () **POR QUÊ?**

9. ATUALMENTE, tem alguma época do ano que você sente sair gases malcheirosos do rio, neste ponto?

- SIM () c) Não sabe
NÃO () d) Não quis responder

Se SIM, em qual época do ano?

- I. VERÃO - setembro a abril = seca ()
II. INVERNO - junho a agosto = chuvas ()
III. O ANO INTEIRO ()

Em que horário é mais sentido? SABE POR QUÊ?

- a) durante a manhã () d) qualquer momento do dia ()
b) durante a tarde () e) Não sabe ou não quis responder ()
c) Durante a noite ()

10. De zero (pior nota) a dez (melhor nota), qual a nota que você daria quando as plantas aquáticas (pastas, aguapé) são muitas e tomam conta do rio, neste ponto? **POR QUÊ?**

- Muito boa – 10 () d) Ruim – 4 a 2 ()
Boa – 9 a 7 () e) Muito Ruim – 1 a 0 ()
Regular – 6 a 5 () Nota: _____

11. ATUALMENTE, você percebe quando a água do rio tem alguma MELHORA, ficando mais transparente?

- SIM () c) Não sabe
NÃO () d) Não quis responder

Se sim, qual época?

- I. VERÃO - setembro a abril = seca ()
II. INVERNO - junho a agosto = chuvas ()
III. O ANO INTEIRO ()

Pode explicar POR QUÊ?

12. Há dragagem neste ponto do rio? Desde quando começou?

- a) SIM () b) NÃO () c) Não sabe ()

Caso **SIM**, de quanto em quanto tempo a DRAGAGEM é feita aqui neste ponto do rio? _____

13. Na sua opinião, A DRAGAGEM, neste ponto do rio, faz a água do rio mudar para melhor ou para pior? **POR QUÊ?**

- a) Melhor () d) Não quis responder ()
 b) Pior () e) não sabe ()
 c) Nada muda ()

14. Quanto tempo duram os efeitos da dragagem no rio, neste ponto? **POR QUÊ?**

- a) até 1 mês () d) mais de 6 meses ()
 b) de 1 meses a 3 meses () e) não sabe ()
 c) de 3 meses a 6 meses ()

15. Que nota você daria para a água do rio, neste ponto, DE UMA SEMANA ATÉ HOJE? **POR QUÊ?**

- a) Muito boa – 10 () b) Ruim – 4 a 2 ()
 c) Boa – 9 a 7 () d) Muito Ruim – 1 a 0 ()
 e) Regular – 6 a 5 ()

APÓS A INTERVENÇÃO

16. Que nota você daria para a água do rio, neste ponto, DE UMA SEMANA ATÉ HOJE? **POR QUÊ?**

- a) Muito boa – 10 () b) Ruim – 4 a 2 ()
 c) Boa – 9 a 7 () d) Muito Ruim – 1 a 0 ()
 e) Regular – 6 a 5 ()

17. Você percebeu alguma mudança na água do rio Jaguaribe, neste ponto, depois que se implantou o BIOTRATAMENTO?

a) SIM () **QUAIS?** b) NÃO () **POR QUÊ?**

Se sim, em quanto tempo?

- a) até 1 mês () d) mais de 6 meses ()
 b) de 1 meses a 3 meses () e) não sabe ()
 c) de 4 meses a 6 meses ()

18. Caso tenha respondido SIM na questão 17, pode listar quais as mudanças que aconteceram com o BIOTRATAMENTO? **POR QUÊ?**

19. De zero (pior nota) a dez (melhor nota), qual a nota que você daria quanto ao BIOTRATAMENTO no rio, ajudar a diminuir o gases malcheirosos, neste ponto? **POR QUÊ?**

- a) Muito boa – 10 () d) Ruim – 4 a 2 ()
 b) Boa – 9 a 7 () e) Muito Ruim – 1 a 0 ()
 c) Regular – 6 a 5 () Nota: _____

20. De zero (pior nota) a dez (melhor nota), qual a nota que você daria quanto ao BIOTRATAMENTO no rio, ajudar a aumentar a transparência da água, neste ponto? **POR QUÊ?**

- a) Muito boa – 10 () d) Ruim – 4 a 2 ()
 b) Boa – 9 a 7 () e) Muito Ruim – 1 a 0 ()
 c) Regular – 6 a 5 () Nota: _____

21. De zero (pior nota) a dez (melhor nota), qual a nota que você daria quanto ao BIOTRATAMENTO no rio ajudar no aparecimento de mais peixes e outros animais na água, neste ponto do rio? **POR QUÊ?**

- Muito boa – 10 () d) Ruim – 4 a 2 ()
 Boa – 9 a 7 () e) Muito Ruim – 1 a 0 ()
 Regular – 6 a 5 () Nota: _____

22. HOJE, com o Biotratamento, você ou alguém da sua casa utilizaria o rio para fazer alguma coisa? **POR QUÊ?**

a) SIM () Quem (caso sim)? _____ b) NÃO ()

Se sim, Qual tipo de uso?

- a) pescar () b) Beber ()
 c) Tomar banho/nadar () d) Lavar Roupa ()
 e) Outro ()

23. De zero (pior nota) a dez (melhor nota), qual a nota que você daria quanto ao rio Jaguaribe, neste ponto, com o BIOTRATAMENTO? **POR QUÊ?**

- Muito boa – 10 () d) Ruim – 4 a 2 ()
 Boa – 9 a 7 () e) Muito Ruim – 1 a 0 ()
 Regular – 6 a 5 () Nota: _____

24. De zero (pior nota) a dez (melhor nota), qual a nota que você daria quanto a APROVAÇÃO E CONTINUIDADE DO BIOTRATAMENTO no rio, neste ponto? **POR QUÊ?**

- Muito boa – 10 () d) Ruim – 4 a 2 ()
 Boa – 9 a 7 () e) Muito Ruim – 1 a 0 ()
 Regular – 6 a 5 () Nota: _____

DADOS SOCIOECONÔMICOS

Iniciais Nome: _____

Idade: _____ Masculino () Feminino ()

Tempo de moradia no local: _____

Trabalha com o quê: _____

Trabalha diretamente com o rio: Não () Sim ()
 Escolaridade: _____

Nº de pessoas na moradia: _____

DADOS DE MORADIA (observação ou sondagem)

Tipo de Moradia:

1. casa própria ()
 2. alugada ()
 3. Outro () _____

Criação de animais:

Não () Sim () _____

Acesso do Quintal:

1. Casa à margem do rio () ;
2. quarteirão na margem do rio ()

Situação do saneamento da casa:

1. Água servida direto para o rio ()
2. Esgoto a céu aberto ()
3. Fossa ()
4. Círculo bananeiras ()
5. Saneado CAGEPA ()
6. Outro: _____

I) Desde quando percebeu que as “pastas” tomam conta do rio?

II) Você conhece alguém da comunidade que retira/utiliza as plantas aquáticas (pastas, aguapé) para alguma coisa? PARA QUÊ?

- a) () Sim b) () Não

APÊNDICE 9. Número de animais citados por grupo pelos entrevistados da São Rafael e da Tito Silva em 2019.

Grupo	Animal	Chegada	Antes	Depois
Anelídeo	sanguessuga	1	0	0
Ave	Garça	1	0	1
Ave	Socó	0	0	3
Ave	galinha de água	1	0	1
Crustáceo	camarão	14	0	0
Crustáceo	Siri	1	0	0
Mamífero	capivara	2	5	0
Mamífero	lontra	1	1	0
Mamífero	Preá	2	0	0
Mamífero	Cotia	1	0	0
Mamífero	Paca	1	0	0
Peixe	muçum	7	0	0
Peixe	Traíra	11	3	2
Peixe	tilápia	13	9	7
Peixe	piaba	10	1	1
Peixe	guaru	3	0	6
Peixe	quindunde	1	0	2
Peixe	Piau	2	0	0
Peixe	pescado	1	0	0
Peixe	carpa	0	1	1
Peixe	Cará	7	3	1
Peixe	curimatã	1	0	1
Peixe	tainha	1	0	0
Peixe	Acará	1	0	0
Peixe	sarapó	1	0	0
Peixe	taicica	1	0	0
Peixe	camorim	1	0	0
Peixe	carapeba	0	0	0
Réptil	cobra	2	0	0
Réptil	cágado	9	6	7
Réptil	jacaré	12	17	8

Fonte: Dados da Pesquisa.

APÊNDICE 10. Número de animais citados por grupo pelos entrevistados da São Rafael e da Tito Silva em 2019, por ponto.

Ponto	Grupo	Animal	Chegada	Antes	Depois
P3	Anelídeo	sanguessuga	0	0	0
P3	Ave	garça	1	0	2
P3	Ave	socó	0	0	3
P3	Ave	galinha de água	0	0	1
P3	Crustáceo	caranguejo	1	0	0
P3	Crustáceo	camarão	5	0	0
P3	Crustáceo	Siri	0	0	0
P3	Mamífero	capivara	0	1	0
P3	Mamífero	lontra	0	0	0
P3	Mamífero	preá	0	0	0
P3	Mamífero	cotia	0	0	0
P3	Mamífero	paca	0	0	0
P3	Peixe	muçum	4	0	0
P3	Peixe	traíra	3	2	2
P3	Peixe	tilápia	5	5	5
P3	Peixe	piaba	3	0	4
P3	Peixe	guaru	0	0	4
P3	Peixe	quindunde	0	1	0
P3	Peixe	piau	0	0	0
P3	Peixe	pescado	0	0	0
P3	Peixe	carpa	0	0	0
P3	Peixe	cará	3	2	0
P3	Peixe	curimatã	0	0	0
P3	Peixe	tainha	2	0	0
P3	Peixe	acará	0	0	0
P3	Peixe	sarapó	0	0	0
P3	Peixe	taicica	0	0	0
P3	Peixe	camorim	1	0	0
P3	Peixe	carapeba	0	0	0
P3	Réptil	cobra	2	0	0
P3	Réptil	cágado	5	3	5
P3	Réptil	jacaré	2	3	7
P4	Anelídeo	sanguessuga	0	0	0
P4	Ave	garça	0	0	0
P4	Ave	socó	0	0	0
P4	Ave	galinha de água	1	0	0
P4	Crustáceo	caranguejo	0	0	0
P4	Crustáceo	camarão	5	0	0
P4	Crustáceo	Siri	1	0	0
P4	Mamífero	capivara	2	3	0
P4	Mamífero	lontra	1	0	0
P4	Mamífero	preá	2	0	0
Ponto	Grupo	Animal	Chegada	Antes	Depois

P4	Mamífero	cotia	1	0	0
P4	Mamífero	paca	1	0	0
P4	Peixe	muçum	2	0	0
P4	Peixe	traíra	8	1	0
P4	Peixe	tilápia	7	5	3
P4	Peixe	piaba	6	1	0
P4	Peixe	guaru	1	0	1
P4	Peixe	quindunde	1	1	1
P4	Peixe	piau	2	0	0
P4	Peixe	pescado	1	0	0
P4	Peixe	carpa	0	1	1
P4	Peixe	cará	3	0	0
P4	Peixe	curimatã	0	0	1
P4	Peixe	tainha	1	0	0
P4	Peixe	acará	1	0	0
P4	Peixe	sarapó	1	0	0
P4	Peixe	taicica	1	0	0
P4	Peixe	camorim	1	0	0
P4	Peixe	carapeba	1	0	0
P4	Réptil	cobra	0	0	0
P4	Réptil	cágado	3	3	2
P4	Réptil	jacaré	9	13	0

APÊNDICE 11. Invertebrados aquáticos do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, que estavam associados aos substratos artificiais para o perífiton que foram retirados dos módulos em fevereiro de 2020, na Tito Silva. (1 = *Biomphalaria glabrata*; 2 = *Drepanotrema* sp.; 3 = *Oligochaeta*; 4 = larva de *Syrphidae*).



Foto: Cristina Crispim, em fevereiro de 2020.

APÊNDICE 12. Retirada dos módulos de Biotratamento do rio Jaguaribe, João Pessoa-PB, no aglomerado Tito Silva no ano de 2020. (A, B, C) por trás da Associação dos Moradores local; (D) retirada de macrófitas para ter acesso aos módulos, encobertos por plantas; (E) plásticos com perifíton repleto de organismos decompositores por causa do sombreamento; (F) descarte dos plásticos na lixeira comunitária, para que seja coletada pela EMLUR.



Fotos: Cristina Crispim, após a pesquisa em fevereiro de 2020.

ANEXOS

ANEXO 1. Classes de rios, de acordo com o CONAMA 357/2005.

Classe	Usos
Classe Especial	a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas. c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	a) abastecimento doméstico após tratamento simplificado; b) proteção das comunidades aquáticas; c) recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d) 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) proteção das comunidades aquáticas em terras Indígenas.
Classe 2	a) abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b) proteção das comunidades aquáticas; c) recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); d) 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) aquicultura e atividade de pesca.
Classe 3	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) pesca amadora; d) recreação de contato secundário; e) dessedentação de animais.
Classe 4	a) navegação; b) harmonia paisagística.

Fonte: BRASIL, 2005.

ANEXO 2. Padrões de qualidade da água, de acordo com o CONAMA 357/2005.

Parâmetros	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Oxigênio Dissolvido	mg/L	$\geq 6,0$	$\geq 5,0$	$\geq 4,0$	$\geq 2,0$
Coliformes Fecais	Nmp/100mL	200	1000	4000	-
pH	-	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9
DBO _{5,20}	mg/L	$\leq 3,0$	$\leq 5,0$	$\leq 10,0$	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	3,7 (pH<7,5) 2,0 (7,5<pH <8) 1,0 (8<pH<8,5) 0,5(pH>8,5)	Idem Classe 1	13,3 (pH<7,5) 5,5 (7,5<pH <8) 2,2 (8<pH<8,5) 1,0 (pH>8,5)	-
Fósforo Total	mg/L P	Lêntico 0,02 Interm 0,025 Lótico 0,1	Lêntico 0,03 Interm 0,05 Lótico 0,1	Lêntico 0,05 Interm 0,075 Lótico 0,15	-
Turbidez	UNT	≤ 40	≤ 100	≤ 100	-
Sólidos Totais	mg/L	500	500	500	-
Cádmio	mg/L Cd	0,001	0,001	0,01	-
Chumbo	mg/L Pb	0,01	0,01	0,033	-
Cobre	mg/L Cu	0,009	0,009	0,013	-
Cromo total	mg/L Cr	0,5	0,05	0,05	-
Merúrio	µg/L Cr	0,2	0,2	2,0	-
Níquel	mg/L Ni	0,025	0,025	0,025	-
Zinco	mg/L Zn	0,18	0,18	5,0	-
Na CLASSE ESPECIAL, deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.					

Fonte: Joslin; Alberts (2015).

ANEXO 3. “João Pessoa em Ação” mantém em junho trabalhos de dragagem de rios e limpeza de galerias

Por Eloísa França - em 02 jun 2019

As ações semanais de manutenção e prevenção contra a ação das chuvas em João Pessoa continuam nesse mês de junho sendo realizadas pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil. Na próxima segunda-feira (3) serão retomados os trabalhos no Rio Jaguaribe, em trechos que percorrem as Avenidas Epitácio Pessoa e Beira Rio, além do Rio Guaíba, que passa pelos bairros de Cruz das Armas e Cristo. A ação também atenderá



a comunidade São Gabriel, no Bessa, e finalizará a limpeza dos canais naquele bairro.

Noé Estrela, coordenador da Defesa Civil, explicou que o trabalho será contínuo para garantir a segurança dos moradores e principalmente manter um trabalho que vem mudando João Pessoa. “O trabalho que realizamos desde 2013 mudou a paisagem da cidade. Não vemos mais alagamentos como antes, conseguimos alargar os rios em alguns pontos, o que trouxe mais vazão a eles. Temos

inclusive a recuperação do rio Cuiá, onde as pessoas voltaram a pescar com seus barcos, além de termos percebido uma queda significativa no montante de lixo que costumávamos tirar dos rios e galerias, o que demonstra que as comunidades também perceberam o quanto é importante descartar o lixo corretamente”,

completou.



Todas as ações realizadas estão dentro do programa João Pessoa em Ação, liderado pela Defesa Civil e que conta com o trabalho integrado das Secretarias de Desenvolvimento Urbano (Sedurb), Infraestrutura (Seinfra), Meio Ambiente (Semam), Desenvolvimento Social (Sedes) e a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (Emlur)

Serviços – A população também pode participar e ser parceira da ação solicitando os serviços disponibilizados

pelas secretarias.

Disk Defesa Civil: 0800-285-9020

Seinfra: 0800-031-1530 ou seinfra@joaopessoa.pb.gov.br

Sedurb: 3218-9151 ou ascomsedurb@gmail.com

Emlur: 0800-083-2425, 3214-7628 ou 3214-7644 (Alô Limpinho); e 3255 8444 (Alô Limpeza)

Fonte: <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/joao-pessoa-em-acao-mantem-em-junho-trabalhos-de-dragagem-de-rios-e-limpeza-de-galerias/>