



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DO USO DE BIOTRATAMENTO NO MELHORAMENTO DA
QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE EM JOÃO PESSOA - PB**

LUCAS FERNANDES DOS SANTOS

JOÃO PESSOA - PB
MAIO DE 2019

LUCAS FERNANDES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO USO DE BIOTRATAMENTO NO MELHORAMENTO DA
QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE EM JOÃO PESSOA - PB**

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido pelo discente Lucas Fernandes dos Santos como requisito parcial para conclusão do curso de Engenharia Ambiental, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

Orientadora: Dra Maria Cristina Basilio Crispim

JOÃO PESSOA - PB

MAIO DE 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237a Santos, Lucas Fernandes Dos.

AVALIAÇÃO DO USO DE BIOTRATAMENTO NO MELHORAMENTO DA
QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE EM JOÃO PESSOA - PB
/ Lucas Fernandes Dos Santos. - João Pessoa, 2019.
46 f. : il.

Orientação: Maria Cristina Basílio Crispim.
Monografia (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Restauração de rio. 2. Biorremediação. 3.
Fitorremediação. 4. Qualidade de água. I. Crispim,
Maria Cristina Basílio. II. Título.

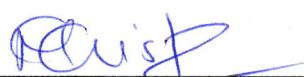
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUCAS FERNANDES DOS SANTOS


AVALIAÇÃO DO USO DE BIOTRATAMENTO NO MELHORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE EM JOÃO PESSOA - PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 07/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:



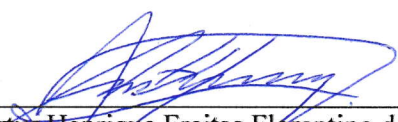
Maria Cristina Basílio Crispim
Departamento de Sistemática e Ecologia do CCEN/UFPB

Aprovado



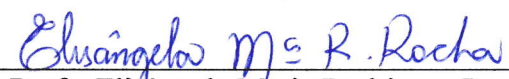
Ana Carolina Figueiredo Lacerda Sakamoto
Departamento de Sistemática e Ecologia do CCEN/UFPB

Aprovado



Artur Henrique Freitas Florentino de Souza
Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA
UFPB

Aprovado



Profa. Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Elisângela M. R. Rocha
Coordenadora de Eng. Ambiental
CT/UFPB - Mat. 1821373

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida.

À minha família, em especial a minha mãe, Cícera Felipe Fernandes, ao meu pai, Antônio José dos Santos que sempre me incentivaram e me apoiaram na realização dos meus sonhos, dando-me sempre apoio e colo quando meu mundo desabava. Ao meu irmão, Rafael Fernandes, que mesmo compartilhando de uma realidade diferente da minha, sempre me apoiou, ajudou, aconselhou, preocupou-se e acima de tudo, vibrou cada conquista comigo. Aos meus afilhados, Isaías, Francisco Luiz e Pérolla por serem minha fonte de inspiração em buscar sempre ser um ser humano melhor, e por me proporcionarem os melhores e mais bobos sorrisos e as mais puras conversas.

Aos meus amigos, Mariana, Ialyson, Rhuan, Thainá e Lukinhas por todo o suporte e atenção dada e que foram de suma importância nesta e em outras conquistas. Gratidão por ter vocês em minha vida.

À minha orientadora e amiga, Cristina Crispim por todo o apoio, paciência e oportunidades que me proporcionaram crescimento pessoal e profissional, meus mais sinceros e eternos agradecimentos.

Aos meus colegas e amigos da universidade, Felipe, Cristiele, Amanda, Rosa, Cecília e Ana Mayara que durante o tempo de curso compartilharam comigo muito aprendizado, alegrias e desesperos.

À banca examinadora pela atenção, dedicação e contribuição dada ao meu trabalho.

A toda a equipe do laboratório, doutorandos, em especial a Arthur Henrique e Randolpho Sávio, mestrandos, colegas de pesquisa e técnico.

RESUMO

O Rio Jaguaribe, em João Pessoa - PB é uma vítima do processo de urbanização insustentável, e tem sofrido os mais variados impactos em sua bacia hidrográfica, que acaba sendo refletido na perda da qualidade de água. O lançamento de esgotos não tratados traz sérios impactos ao corpo receptor, como diminuição do oxigênio dissolvido, intensificação do processo de eutrofização e mudanças na biota aquática, visível pelo aumento de plantas aquáticas. Assim, diante dessa problemática vivenciada por uma boa parte dos rios urbanos brasileiros, o presente trabalho buscou avaliar o potencial depurador do biotratamento, incluindo biofilme e macrófitas, no melhoramento da qualidade de água do Rio Jaguaribe. Após a instalação de substratos para biofilme e o aproveitamento de um banco de macrófitas já existente em um trecho do rio, analisaram-se parâmetros físicos (Temperatura, pH e condutividade elétrica) e químicos (compostos nitrogenados e fosfatados), oxigênio e sólidos totais dissolvidos, da água a montante e a jusante das estruturas biológicas. Verificou-se diferença significativa entre os dados de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos a montante e jusante do biotratamento, sendo menores a jusante e uma tendência de aumento na oxigenação, e nitrito, o que revela uma maior eficácia no processo de nitrificação pelo sistema biológico e uma tendência de diminuição de compostos como amônia, nitrato, fósforo total, fosfato, apesar do pouco tempo de permanência no sistema biológico, visto que o rio está com fluxo. Dessa forma, observa-se que técnicas de biorremediação utilizando o biofilme e macrófitas são potenciais biotecnologias para utilização na melhoria de ambientes aquáticos degradados, e colocados em sequência em um rio proporcionarão condições menos estressantes ao ambiente, favorecendo o melhoramento da qualidade de água dos rios, possibilitando mais serviços ecossistêmicos e os múltiplos usos.

Palavras Chaves: Restauração de rio; Biorremediação, Fitorremediação, Qualidade de água.

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

BioMac – Biofilme e Macrófitas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

OD - Oxigênio Dissolvido

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização da área de estudo no Rio Jaguaribe – PB.....	22
Figura 2: Construção das “cortinas” de biofilme e das estruturas de sustentação.....	25
Figura 3: Estruturas do biofilme instaladas no ponto estudado no Rio Jaguaribe – PB.....	25
Figura 4: Valores de temperatura a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.....	27
Figura 5: Valores de pH a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.....	28
Figura 6: Concentrações de oxigênio dissolvido a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.....	30
Figura 7: Concentrações de amônia a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 8: Aspecto do córrego que fica entre a nascente do Rio Jaguaribe e o local de estudo. Seta mostra a presença maciça de macrófitas no rio (capim).....	32
Figura 9: Concentrações de nitrito a montante e jusante das estruturas de biofilme em um trecho do Rio Jaguaribe.....	33
Figura 10: Concentrações de nitrato a montante e jusante das estruturas de biofilme em um trecho do Rio Jaguaribe.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 11: Valores de condutividade elétrica a montante e jusante das estruturas de biofilme em um trecho do Rio Jaguaribe.....	35
Figura 12: Concentrações de fósforo total a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 13: Concentrações de fosfato a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.....	37
Figura 14: Concentrações de sólidos totais a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis físicas, químicas e seus respectivos métodos de análises.....	23
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
3.1 RIOS URBANOS	13
3.2 ÁGUA NO PLANETA.....	14
3.3 QUALIDADE DE ÁGUA	15
3.4 BIORREMEDIAÇÃO	17
3.5 BIOFILME.....	19
4. METODOLOGIA.....	22
4.1 ÁREA DE ESTUDO	22
4.2 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E BIOLÓGICAS	23
4.3 INSTALAÇÃO DO SISTEMA BIOFILME	24
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 ANÁLISES DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS	27
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, as civilizações humanas buscaram áreas férteis e irrigadas para se estabelecerem 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 (THEISEN, 2012).

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 um processo de degradação na sua qualidade.

Os rios acabam sendo os principais receptores de esgotos domésticos e industriais, e quando os volumes desses efluentes excedem a sua capacidade de autodepurar-se, apresentam modificações físicas e químicas na água e na comunidade biológica (SCHAFER, 1985).

Segundo Clarke e King (2005), mais de dois bilhões de pessoas não possuem acesso ao saneamento básico no mundo. 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 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 as 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. O lançamento de

efluentes domésticos, contendo nutrientes e coliformes fecais diretamente nos rios urbanos é uma prática corriqueira em comunidades subnormais ou bastante 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 (SEQUEIRA et al., 2012).

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 e SPAREMBERGER, 2004).

Técnicas de biorremediação veem 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. A fitorremediação, técnica que utiliza as plantas para absorverem os nutrientes ou poluentes dos ambientes aquáticos vem sendo bastante estudada, atrelada também a sistemas biorremediadores em que tem-se o uso do biofilme, que segundo pesquisas realizadas pelo Laboratório de Ecologia Aquática-DSE-UEPB (CRISPIM et al., 2009; SOUSA, 2014, MARINHO, 2018) tem-se mostrado bastante eficiente na recuperação de ambientes degradados e ricos em nutrientes.

Segundo Battin (2003), o biofilme 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 biofilme 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 biofilme e das macrófitas 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, em escala pontual, no melhoramento da qualidade de água do Rio Jaguaribe.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL: Avaliar o uso do biotratamento no melhoramento da qualidade de água do Rio Jaguaribe, em João Pessoa - PB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito do biotratamento através de indicadores físicos como pH e condutividade elétrica;
- Avaliar o efeito do biotratamento através de indicadores químicos em relação aos compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato), fosfatados (fósforo total e ortofosfato) e concentrações de oxigênio dissolvido;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 RIOS URBANOS

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: geração de energia, transporte, oferta de água potável, agricultura e recreação (JASPERS, 2002).

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 pluviais (ROSSI et al., 2012).

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 (ROSELL & BURGESS, 1997). No entanto, apesar da grande importância que os rios 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, sendo essa a realidade do Rio Jaguaribe.

Com o processo de urbanização desordenado e sem planejamento, os ambientes aquáticos sofrem com o despejo *in natura* de efluentes, ocasionando diversos impactos na biota aquática e na qualidade de água, fazendo com que esses ambientes tornem-se áreas degradadas. Essa situação é mais visível, principalmente, em áreas urbanas onde os cursos de água recebem uma carga muito elevada de efluentes domésticos e industriais, além de sedimentos e resíduos sólidos urbanos (FIA et al., 2015).

Lançamentos de resíduos e esgotos domésticos e industriais em corpos hídricos são uma prática comum em diversos países. Um exemplo disso é o caso do Rio Ganges na Índia, que de acordo com a revista Veja (2017), o rio vem sofrendo muito com a poluição, devido à expansão das cidades e dos centros industriais. Já no Brasil, tem-se o Rio Tietê em São Paulo, que durante as décadas de 1930 e 1940 era utilizado para práticas esportivas e de lazer, entretanto, nos anos seguintes à ocupação desordenada da população e o despejo de esgotos domésticos e industriais, o que contribuiu 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 (GARCIAS e AFONSO, 2013).

Outro impacto em rios urbanos conduzidos pelo homem é a transformação destes rios em vias fechadas ou canais, destruindo o sistema natural do ambiente e comprometendo a qualidade da água, além do uso de sua estrutura para o despejo final de esgotos domésticos e industriais (TUCCI, 2003). Há também a mudança no curso dos rios causados pelas canalizações, implicando em alterações no seu regime hidrológico, inundações e assoreamento e maior concentração de sedimentos (SIMSEK, 2012).

O Brasil e outros países têm rios impactados pela ação antropogênica e a ocupação urbana desordenada o que fez com que a maior parte dos rios fossem canalizados ou feitos como depósitos de esgotos e lixo (BRITTO & SILVA, 2006).

O Rio Jaguaribe, localizado na cidade de João Pessoa - PB teve o seu curso natural alterado. De acordo com Medeiros e Junior (2016), a mudança no curso do rio ocorreu na década de 1930, devido à pressão imobiliária e à instalação de empreendimentos, o rio que antes desaguava na praia do Bessa, passou a somar-se ao Rio Mandacaru, desaguando no Rio Paraíba e desembocando no Oceano Atlântico, em Cabedelo - PB.

Em razão dos diversos impactos citados, a qualidade e 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 (TÂNGARI et al., 2007), tornando-se ambientes degradados e receptores de esgotos e resíduos.

3.2 ÁGUA NO PLANETA

De acordo com Rebouças (2002) 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, uma vez que, segundo Araújo et al. (2009) uma boa parcela da água doce existente no planeta possui algum tipo de contaminação, o que pode acarretar em danos nocivos para a população.

O Brasil é um país que possui uma grande disponibilidade de água doce. Segundo Gomes (2011), 12% da água doce existente no mundo encontra-se no Brasil, 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 *et al.*, 2013).

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 agronegócio, exerce também um papel fundamental na qualidade e perspectiva de vida das populações urbanas (SHUBO 2003). A água provavelmente é o único recurso natural capaz de interligar todas as atividades desenvolvidas pelo homem, que vão desde o próprio consumo humano, produção de alimentos, desenvolvimento industrial, até os valores culturais, espirituais e religiosos existentes na sociedade (VAL CABRAL, 2009).

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, o qual exerce muita pressão sobre os rios (ROCHA, 2012), favorecendo o escoamento superficial e diminuindo a infiltração na bacia hidrográfica, o que diminui a água dos 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 destes ambientes (ZANINI, 2009). Apesar de serem extremamente importantes para a manutenção da vida, os sistemas aquáticos veem sofrendo um processo acelerado de degradação, comprometendo a qualidade de um recurso já escasso.

3.3 QUALIDADE DE ÁGUA

Qualidade de água é um conceito que pode variar, a depender diretamente da finalidade de seus usos, seja para abastecimento humano, balneabilidade, irrigação, transporte, ou manutenção da vida aquática (SOUZA *et al.*, 2014; NEVES *et al.*, 2014).

Atualmente a maioria das bacias hidrográficas bem como os grandes ecossistemas aquáticos urbanos vem enfrentando grande dificuldade quanto à manutenção da qualidade da água, devido principalmente à elevada contaminação dos mananciais advindos da ação antrópica (MARINHO, 2018).

A perda da qualidade de água dos corpos hídricos é um dos maiores problemas da atualidade. Assim, os estudos limnológicos são fundamentais para a avaliação dos impactos

da poluição nos corpos hídricos, podendo detectar os processos de eutrofização, a qualidade da água e as principais fontes de poluentes (GARCIA *et al.*, 2012).

As fontes poluidoras que levam à perda da qualidade da água de rios e reservatórios podem ser classificadas em pontuais e difusas. As cargas pontuais caracterizam-se pelo lançamento e descarga de efluentes domésticos e industriais, enquanto as difusas são aquelas oriundas de escoamento superficial que carregam os poluentes aos corpos de água superficiais (CETESB, 2009). Estas fontes de emissão de 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 ingiram essas águas contaminadas (BRAGA, 2005).

O monitoramento de ambientes aquáticos é uma ferramenta importante para a gestão ambiental, pois fornece informações que contribuem para a caracterização das águas e para a identificação dos impactos que provocam a degradação dos recursos hídricos (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013) além de auxiliar na classificação dos usos que podem ser dadas para essas águas.

A resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - 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 de classe 4 são destinadas apenas a navegação e harmonia paisagística.

Um dos principais problemas no que diz respeito à qualidade das águas em centros urbanos está relacionado com o lançamento de efluentes domésticos. Diversos municípios brasileiros 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, comprometendo a qualidade das águas e os seus diversos usos (SANTOS, OLIVEIRA, CRISPIM, 2017).

O lançamento de efluentes não tratados e ricos em nutrientes 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.

Segundo Macedo e Sipaúba-Tavares (2010), a eutrofização acontece tanto de forma natural quanto artificial, sendo no primeiro caso (natural) um processo lento e contínuo,

resultante do aporte 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 às florações de Cyanobactérias (De 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 podem ser resumidos da seguinte forma, segundo Azevedo Neto (1988):

“desenvolvimento excessivo e prejudicial de algas, 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 anoxia, 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” p. 23.

Assim, conhecer a qualidade de água dos rios e intervir para que retornem a condições 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 da água dos rios, por indicadores físicos, químicos e biológicos (MUGNAI et al., 2010) e por fim, aplicar técnicas que possam auxiliar no processo de recuperação desses ambientes. Isso pode ser feito pela biorremediação.

3.4 BIORREMEDIAÇÃO

A biorremediação é um processo que ocorre através de microorganismos para a remoção de poluentes tóxicos de algum ecossistema aquático. 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 tecnologia da biorremediação é muitas vezes menos onerosa 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).

Na implantação de qualquer sistema de biorremediação, é necessária que haja a caracterização do ambiente a ser tratado, devendo sempre antes de sua aplicação, ter resposta para os seguintes questionamentos: 1) se o contaminante pode ser degradável por algum microrganismo (biodegradável), 2) se no local contaminado já está ocorrendo a biodegradação de forma natural, 3) se as condições do ambiente são favoráveis para a biodegradação, e, por fim, 4) caso o poluente não seja completamente degradado, qual será o comportamento do material residual (BOOPATHY, 2000). A biorremediação pode ser realizada tanto *in situ* (quando aplicado no ambiente contaminado) quanto *ex situ* (quando o contaminante é levado para tratamento em outro ambiente) (BOOPATHY 2000; YANG et al., 2009; CARNEIRO; GARIGLIO, 2010).

Uma tecnologia ainda em pesquisa, mas que visa à reestruturação 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. Estas estruturas quando associadas ao biofilme, 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 biofilme na criação em cativeiro do camarão da malásia, a fim de tratar a água do cultivo, uma vez que são águas ricas em nutrientes, devido às excretas dos animais e também ao arraçoamento contínuo no ambiente. Oliveira (2016) observou que as concentrações de OD no cultivo com o biotratamento foi maior em relação ao cultivo convencional, as concentrações de amônia também foram menores no cultivo alternativo, além de observar melhorias nos parâmetros físicos da água e no aumento do camarão nos viveiros que continham o biofilme.

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 concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fosfato (HE et al., 2008).

“Os microrganismos também são bons biodegradadores. Pesquisas demonstram que os microrganismos possuem um elevado potencial biodegradador, podendo degradar poluentes orgânicos em condições controladas em laboratório, entretanto, a ação potencial desses microrganismos pode ser diferente no ambiente natural, devido às condições ambientais já estabelecidas (SOUSA, 2014)” p. 34.

Segundo Sousa (2014), 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. Assim, um conjunto de condições ambientais determina a ação biodegradante dos microrganismos (PANDEY; FULEKAR, 2012).

3.5 BIOFILME

O biofilme, anteriormente denominado de perífíton (mas mudado, porque este nome valorizava mais a parte vegetal do biofilme) é um sistema biorremediador. É definido como micro comunidades (Bactérias, fungos, algas, animais e detritos) de aspecto gelatinoso, aderidos a substratos orgânicos (plásticos, madeiras) ou inorgânicos (areia, brita), vivos ou mortos, geralmente imerso em meio líquido (WETZEL 1983; ALISSON, 2003). Para além dos microrganismos, no biofilme em ambientes aquáticos encontram-se algas, protozoários, microcrustáceos e rotíferos, o que o torna um sistema biológico completo, com produtores, consumidores e decompositores (WETZEL, 1983). A função principal do biofilme nos ecossistemas aquáticos pode focar-se em três linhas: dinâmica de nutrientes, fornecimento de energia para o ecossistema e regulação da vegetação submersa (LIBORIOUSSEN, 2003). O biofilme atua como um depósito temporário de nutrientes, ajudando na diminuição da concentração dos compostos causadores da eutrofização, podendo-se aplicar para o tratamento de águas residuais (WU et al., 2013).

As comunidades de algas e bactérias que fazem parte do biofilme são uma das principais fontes de alimento para outros organismos como invertebrados e vertebrados principalmente peixes (SANZ-LÁZARO et al., 2011). Vieira (2018) fez o uso do biofilme em viveiros de piscicultura e observou que o sistema foi altamente eficiente no aumento do OD e da transparência no ambiente, reduzindo as concentrações de nutrientes do ambiente, além de obter um melhor crescimento dos peixes nos viveiros com biotratamento em relação aos viveiros controle.

O biofilme desempenha uma função muito importante no fluxo de nutrientes na coluna de água e nos níveis tróficos mais elevados dos ecossistemas aquáticos, além de desempenhar papel importante nos fluxos de energia e em ciclos de elementos como fósforo, nitrogênio, oxigênio e entre outros (BATTIN et al., 2003; BALDWIN et al., 2006). A importância do biofilme não só se limita em fazer parte da produtividade primária dos ecossistemas, mas é também o principal regulador do fluxo de nutrientes nos corpos de água (WETZEL, 1990;

MARTINS et al., 2003). Pérez (2015) ao instalar o biofilme 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, registraram-se maiores valores de transparência e OD após o uso do biofilme, assim como as espécies indicadoras de melhor qualidade de água do zooplâncton, como Copepoda Calanoida, foram mais abundantes a montante (influência do sistema de biotratamento), enquanto que as de maior produtividade foram mais abundantes a jusante (sem influência do sistema de biotratamento), como o Cladocera *Moina minuta*.

Para o desenvolvimento do biofilme podem ser utilizados diversos tipos de substratos artificiais, como exemplo: materiais de PVC, fibra de vidro, acrílico, entre outros (SOUSA, 2014). O PVC mostrou ser um bom substrato para a comunidade do biofilme em lagoa de estabilização, contribuindo para a melhoria do efluente em termos de DBO₅ solúvel, sólidos suspensos e turbidez (BENTO, 2005). A utilização de substratos artificiais constitui uma boa opção para a análise do crescimento e composição do biofilme. Para a sua análise deve-se levar em consideração o tipo de substrato a utilizar, o grau de rugosidade da superfície, a remoção do biofilme, a área e homogeneidade de colonização, a posição do substrato no corpo de água e sua localização (MARTINS et al., 2003).

Crispim e colaboradores (2009) aplicaram sistemas biorremediadores na absorção de nutrientes, em um mesocosmos com água de um açude do semiárido, e verificaram que a técnica utilizando o sistema de biofilme foi altamente eficaz na remoção de nutrientes do ambiente.

Sousa (2014) em experimentos realizados com o sistema biofilme e sistema macrófitas em uma ETE observou que o sistema biofilme teve maior eficiência nos seguintes parâmetros: oxigênio, transparência, pH (o biofilme manteve o pH mais perto de níveis aceitáveis pelos seres vivos), qualidade do fitoplâncton (o biofilme inverteu a dominância de cianobactérias por clorofíceas). No entanto, as macrófitas foram mais eficientes na diminuição de sais minerais (valores de condutividade menores) e do ortofosfato.

Marinho (2018) testou o uso do biofilme em um rio urbano (Rio do Cabelo) da cidade de João Pessoa – PB e observou bons resultados no melhoramento da qualidade da água e no desenvolvimento da comunidade de peixes do rio, com o aumento de nove espécies após a instalação do sistema biorremediador. O mesmo autor ainda afirmou que essa técnica é uma forma de restaurar os ambientes aquáticos degradados, a baixo custo, e que deveria ser aplicada em outros rios poluídos, permitindo assim, que esses ambientes melhorem a sua qualidade, de forma a garantir a prestação de seus serviços ecossistêmicos.

Dessa forma, este trabalho avaliou o efeito de biotratamento (biofilme e macrófitas) nas áreas perto das nascentes do Rio Jaguaribe, como projeto integrado a uma tese de doutorado do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEM-UFPB, de Artur Henrique Freitas Florentino de Sousa, no sentido de testar o efeito de fitorremediação por macrófitas naturais e biorremediação por biofilme, inserindo substratos artificialmente.

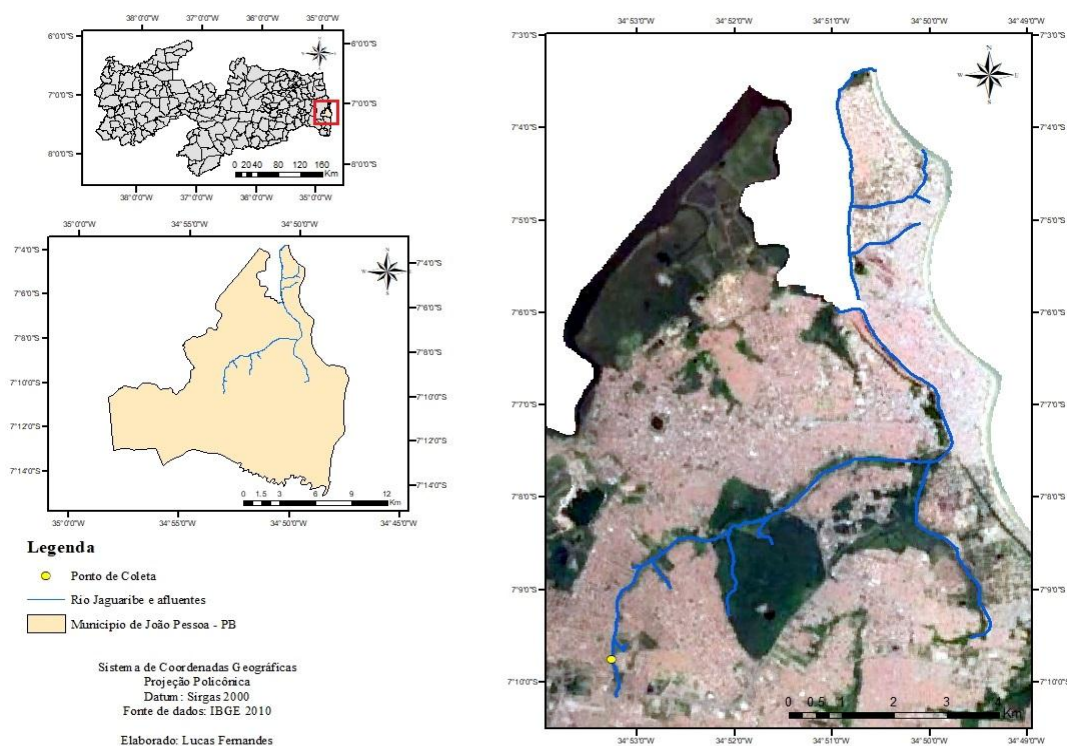
4. MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Sales (2018), o Rio Jaguaribe localiza-se inteiramente no município de João Pessoa – PB, estendendo-se ao longo de 21 km, onde passa por diversos bairros e comunidades ao longo de seu trajeto. O rio que antes nascia no bairro Ernani Sátiro, devido à construção de um conjunto habitacional, teve sua cabeceira alterada, encontrando-se nos dias atuais na comunidade Boa Esperança.

Para a realização do experimento foi escolhido um ponto no Rio Jaguaribe, localizado sob as coordenadas $7^{\circ}09'45''$ S e $34^{\circ}53'16''$ W, onde foram coletadas as amostras de água e instalado o biotratamento no período de chuvas, o ponto em estudo fica a aproximadamente 2 Km da nascente do rio, é um trecho estreito sem presença de mata ciliar, com margens bastante adensadas e com plantio de algumas culturas, observa-se a entrada de esgotos vindos de um conjunto habitacional e a presença de resíduos sólidos, além da presença de um banco de macrófitas dentro do rio. Na figura 1 a seguir tem-se a localização do local adotado para a pesquisa.

Figura 1: Localização da área de estudo no Rio Jaguaribe – PB.



4.2 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E BIOLÓGICAS

Para realizar a caracterização das águas do Rio Jaguaribe foram feitas quatro coletas no ponto escolhido. Foi instalado um sistema biorremediador (biofilme), a fim de acompanhar a eficiência do sistema no melhoramento da qualidade da água do rio. Aproveitou-se um banco de macrófitas natural que já existia no local, para completar o biotratamento, pelo sistema BioMac (biofilme e macrófitas) (MARINHO, 2018).

As técnicas de análise de amostras de água para análises físicas, químicas e biológicas foram determinadas seguindo os padrões estabelecidos em APHA por Clesceri et al. (1998), utilizando os equipamentos adequados para a respectiva análise.

Em campo, foram determinadas as variáveis temperatura, pH, oxigênio dissolvido - (OD), condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, com o auxílio de sondas. Para os demais parâmetros, as amostras de água foram coletadas e armazenadas em garrafas de polietileno e resfriadas até chegarem ao Laboratório de Ecologia aquática – LABEA - UFPB e depois de filtradas com bomba de vácuo, por filtros GF-C e foram congeladas até posterior análise em laboratório. Foram coletadas três réplicas das amostras a montante e mais três réplicas a jusante das estruturas, em que os parâmetros analisados ao longo das quatro coletas (12/03/2019, 19/03/19, 26/03/19 e 02/04/19) funcionaram como réplicas e foram apresentados os valores médios e desvio padrão de cada parâmetro. As metodologias utilizadas para análise das variáveis físicas e químicas estão dispostas na tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Variáveis físicas e químicas e seus respectivos métodos de análises.

Variáveis	Método de Análise
Físicas	
Temperatura (°C)	Sonda Multiparâmetro
Condutividade elétrica	Sonda Multiparâmetro
pH	Sonda Multiparâmetro
Químicas	
Sólidos Totais	Sonda Multiparâmetro
Oxigênio Dissolvido (%)	Oxímetro

Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹)	Método do fenol (CLESCERI <i>et al.</i> , 1998)
Nitrito (mg.L ⁻¹)	Método colorimétrico (CLESCERI <i>et al.</i> , 1998)
Nitrato (mg.L ⁻¹)	Brucina - Colorimétrico/(415nm) FRIES e GETROST, 1977
Fosfato (mg.L ⁻¹)	Método do Persulfato (CLESCERI <i>et al.</i> , 1998)
Fósforo Total (mg.L ⁻¹)	Colorimétrico (CLESCERI <i>et al.</i> , 1998)

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 INSTALAÇÃO DO SISTEMA BIOFILME

O biotratamento foi instalado na cabeceira do Rio Jaguaribe no mês de fevereiro 2019, utilizando o sistema de biorremediação com o biofilme em um ponto do rio e utilizando um banco de macrófitas que já se encontrava no local.

Para o sistema de biofilme foram construídos módulos de “cortinas” de plástico em formato retangular medindo 2,0 m X 0,5 m (largura x profundidade) e fixadas a uma distância de 30 cm entre elas, amarradas em cordões de nylon e suspensas por troncos de bambus medindo 1,5 m X 2,0 m, a fim de funcionar como boias de flutuação e manter a estrutura fixa no ambiente, foram instaladas duas estruturas do biofilme no ponto de coleta, cada estrutura com seis “cortinas”, as estruturas foram amarradas por uma corda e presas nas margens do rio, na parte inferior da “cortina” foram colocadas pequenas pedras para que a estrutura mantivesse a cortina suspensa sem flutuar e aumentasse a eficiência do sistema. Na figura 2 a seguir tem-se a construção das estruturas do biofilme.

Só foram iniciadas as análises no trecho do Rio Jaguaribe cerca de 30 dias após a sua instalação, para dar tempo ao biofilme de se instalar.

Como o trecho analisado é muito pequeno, e só apresentava o banco de macrófitas, com a instalação das estruturas para fixação de biofilme, é possível avaliar o potencial biológico do aumento da capacidade de depuração do sistema aquático.

Figura 2: Construção das “cortinas” de biofilme e das estruturas de sustentação.



Fonte: Acervo do LABEA

O módulo de plástico serviu como substrato para a colonização e desenvolvimento do biofilme. Essa estrutura foi deixada no ambiente durante o período de análise, foram feitas coletas de amostras de água a fim de verificar sua eficiência como um sistema biorremediador. Os módulos do biotratamento juntos possuíam uma área de 25,44m² que foram usados para a fixação da comunidade do biofilme. Na figura 3 a seguir tem-se o sistema de biofilme instalado no Rio Jaguaribe e o banco de macrófitas natural presente na área.

Figura 3: Estruturas do biofilme instaladas no ponto estudado no Rio Jaguaribe – PB.



Fonte: Acervo do LABEA

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

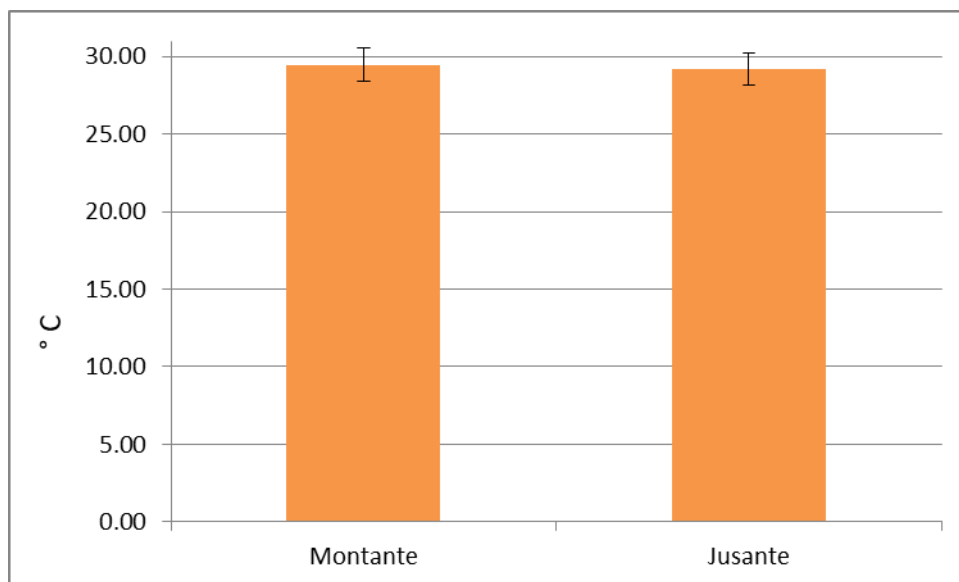
A partir da análise do teste de normalidade de Shapiro, onde os dados apresentaram-se normais, com valor de $p = 0,678$, foi utilizado o Test T-Student para comparar as variáveis limnológicas no experimento a montante e a jusante das estruturas de biofilme, que forneceu os valores de significância ($p < 0,05$) para os parâmetros comparados antes e depois das estruturas do biotratamento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISES DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS

Os valores médios de temperatura analisados a montante e jusante das estruturas de biofilme podem ser observados na Figura 4 a seguir. Assim, observa-se que a temperatura média a jusante foi ligeiramente menor (29,20 °C) quando comparado com o valor a montante (29,50°C) (Fig. 4), embora não tenha sido verificada diferença significativa (N=4; T=-0,604; p=0,5517).

Figura 4: Valores de temperatura a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.



Fonte: dados da pesquisa

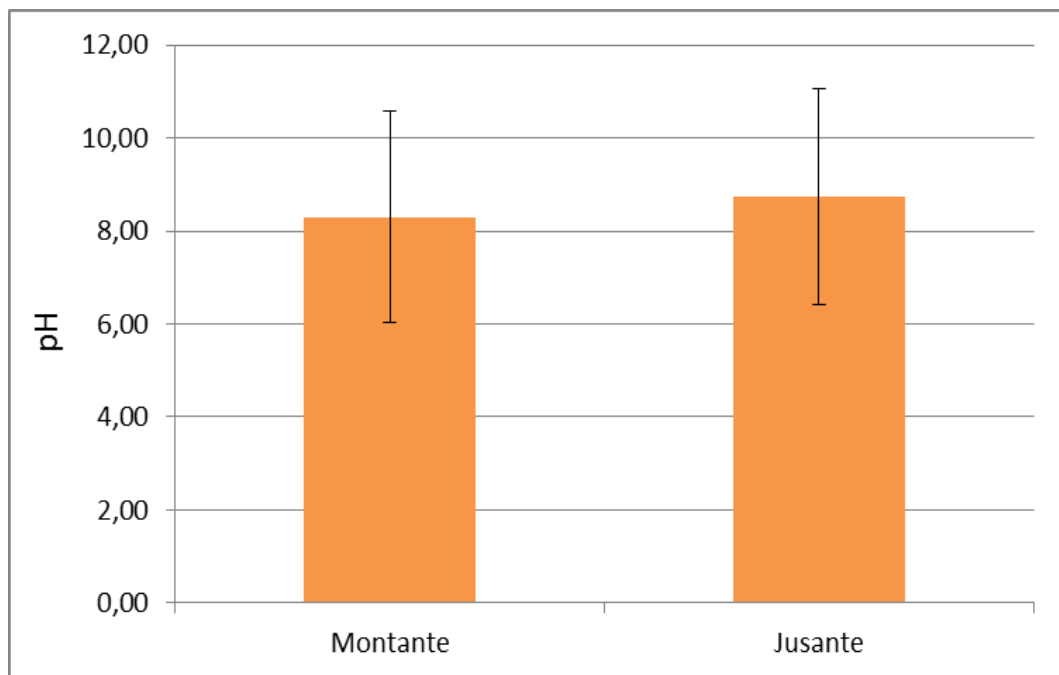
Maior quantidade de partículas na água favorece o aumento da temperatura visto que essas partículas absorvem calor da radiação solar, logo, águas com mais partículas em suspensão tendem a ser mais quentes que águas com menos partículas (ESTEVEZ, 2011).

Os valores médios de pH variaram de 8,29 à montante das estruturas e de 8,73 à jusante. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, Valores de pH inferiores a 6,0 e superiores a 9,0 excedem os limites de classificação das águas doces (classes 1, 2 e 3), assim tanto os valores à montante quanto à jusante das estruturas do biofilme. Apesar de não haver diferença significativa pelo teste T (N=4; T=-0,003; p=0,998), observa-se a tendência de um ligeiro aumento do pH a jusante quando comparado com montante (Fig. 5).

Valores muito elevados de pH podem ser o resultado do aumento da fotossíntese, o que aumenta a absorção de CO_2 e com isso aumentam os valores de pH. Esse aumento também pode ser resultado da presença de sabão que chega através dos esgotos.

Marinho (2018) também observou aumento nos valores de pH após a utilização do biofilme no Rio Cabelo em João Pessoa – PB.

Figura 5: Valores de pH a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.



Fonte: Dados da pesquisa

Em relação às concentrações médias de OD no trecho analisado, observou-se uma tendência de maior concentração a jusante das estruturas do biofilme em relação a montante, (Fig. 6), embora o teste T não tenha apresentado diferenças significativas entre os dois locais (N=4; T=0,668; p=0,511).

As concentrações de oxigênio também são muito dinâmicas e são a diferença entre o que é eliminado pela fotossíntese e consumido pela decomposição (ESTEVES, 1988). Processos de decomposição diminuem muito as concentrações de OD, pelo consumo das bactérias decompositoras aeróbias. Esse aumento na oxigenação a jusante das estruturas pode está relacionado com a atividade fotossintética realizada tanto pelo biofilme quanto pelo fitoplâncton, o biofilme também atua na assimilação de nutrientes do ambiente reduzindo a decomposição no ambiente.

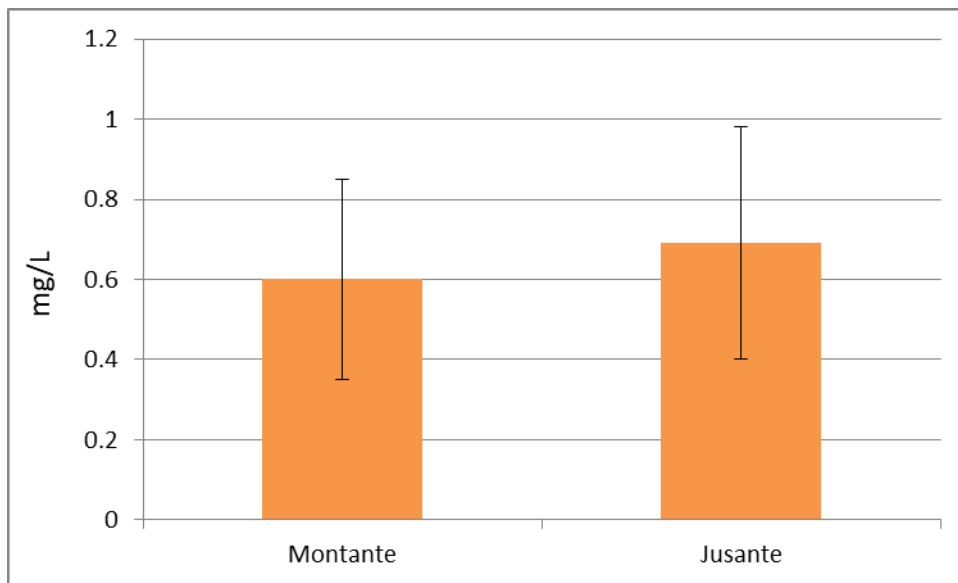
Aumentos na oxigenação também foram registrados por Marinho (2018) após a instalação do sistema biofilme em um rio urbano. Vieira (2018) registrou também aumento gradativo das concentrações de OD em viveiros de piscicultura após a instalação do biofilme. Sousa (2014) verificou que o aumento na oxigenação mesocosmos com águas de lagoas de tratamento de esgoto foi devido ao efeito direto da instalação do biofilme.

Boyd (1979) diz que concentração de oxigênio dissolvido é ótima quando é superior a 4 mg.L^{-1} . De acordo com Kubitza (2003), os peixes possuem uma alimentação melhor, têm mais saúde e desenvolvem-se mais rápido quando submetidos a concentrações mais elevadas de OD, apesar de algumas espécies de peixes tolerarem concentrações muito baixas de OD (ALBANEZ; MATOS, 2007). Neste caso, os valores de oxigênio dissolvido registrados na área de estudo, abaixo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ são muito baixos para a presença de peixes, no entanto foram observados pequenos peixes após a instalação dos módulos para o biofilme.

A presença de oxigênio na água para além de favorecer as espécies aeróbias também auxilia na redução da eutrofização, por unir-se ao ferro e fósforo, formando o fostato ferroso, que é insolúvel e precipita no sedimento, deixando de estar disponível na coluna de água (ESTEVEES, 2011).

As concentrações médias de amônia apresentaram-se ligeiramente menores a jusante das estruturas do biofilme, quando comparadas com as de montante, embora também não tenha se verificado diferença significativa segundo o teste T ($N=4$; $T=0,671$; $p=0,509$). Como mostra o Figura 7, a montante a concentração foi de $2,13 \text{ mg.L}^{-1}$ e a jusante de $1,91 \text{ mg.L}^{-1}$.

Figura 6: Concentrações de oxigênio dissolvido a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.



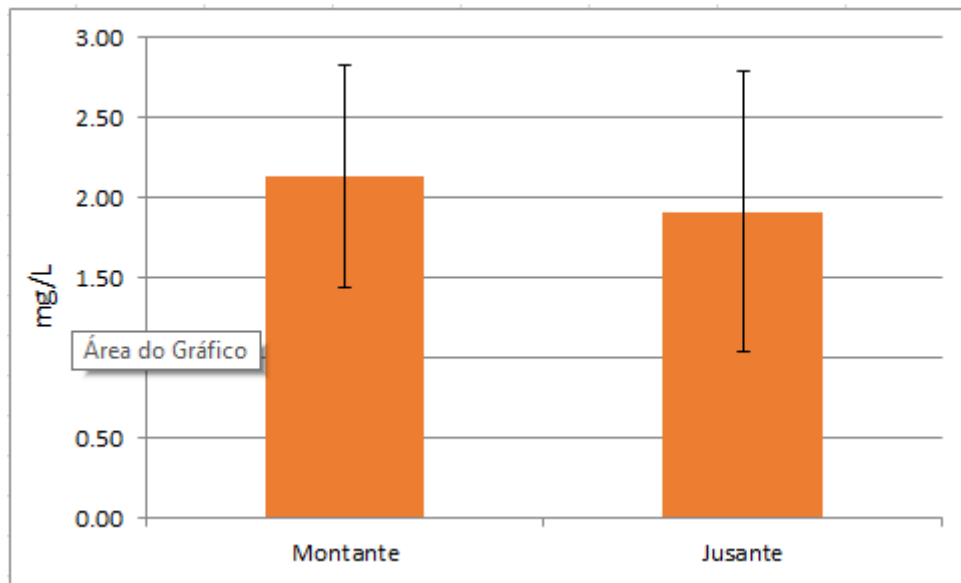
Fonte: Dados da pesquisa

Segundo Carvalho (2011) elevadas concentrações de amônia estão relacionadas com a composição proteica de matéria orgânica devido ao processo de decomposição. Assim, devem ser comuns em rios urbanos, que recebem uma grande carga de esgotos *in natura*.

As concentrações de amônia variaram de 1,61 a 2,41 mg.L⁻¹, apresentando valores médios mais elevados a montante do biotratamento (Fig. 7). Maiores concentrações desse composto a montante podem ser explicadas devido à entrada maciça e nítida de um córrego de esgotos domésticos, oriundos de um conjunto habitacional próximo da área de estudo. Além disso, desde a nascente do rio até o local de estudo, o córrego formado está cheio de macrófitas (Fig. 8), sua decomposição aumenta a disponibilidade de amônia, que para sofrer os processos de nitrificação requer presença de oxigênio. Como as macrófitas ocupam toda a área, não há a entrada de luz, que permita a seres autotróficos realizar a fotossíntese e dessa forma aumentar o oxigênio da água, sendo assim, a amônia será nitrificada mais eficientemente quando tiver mais oxigênio na água, o que se verifica a jusante do biotratamento, por isso os valores de nitrito são mais elevados a jusante.

A amônia na forma não ionizada (NH₃) é a mais tóxica para os organismos aquáticos. Em sistemas de piscicultura, níveis de amônia entre 0,70 e 2,40 mg.L⁻¹ podem levar à morte dos organismos, mesmo expostos por um curto período de tempo. Contudo, a exposição contínua a concentrações acima de 0,02 mg.L⁻¹ pode causar irritação e inflamação nas brânquias dos peixes (SOUSA, 2014).

Figura 7: Concentrações de amônia a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.



Fonte: Dados da pesquisa

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 (2014) também registrou redução desse composto em efluentes de uma ETE, após o uso do sistema biorremediador.

Figura 8: Aspecto do córrego que fica entre a nascente do Rio Jaguaribe e o local de estudo. Seta mostra a presença maciça de macrófitas no rio (capim).

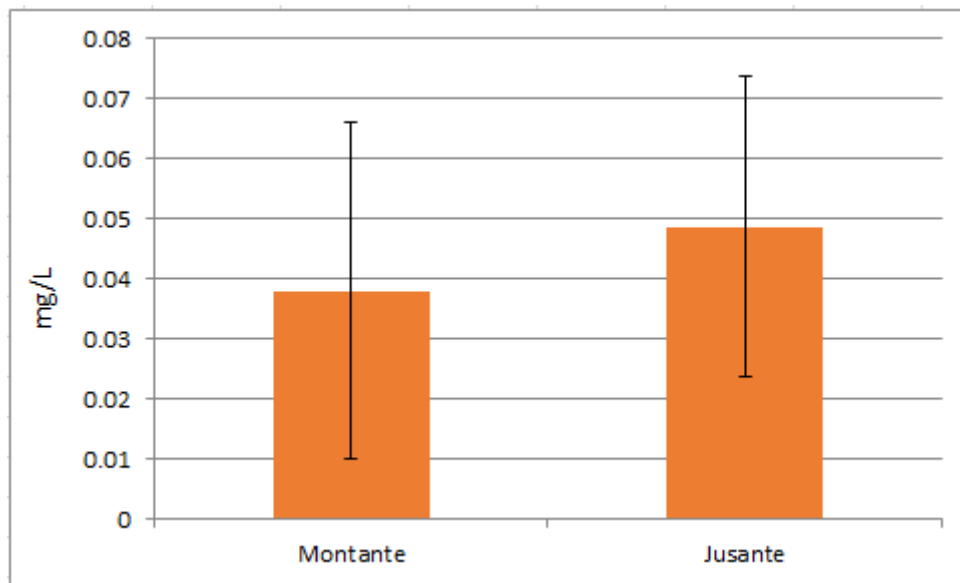


Foto: Cristina Crispim, 2019.

O nitrito foi o único composto que apresentou um ligeiro aumento nas concentrações médias a jusante do que a montante, atingindo concentrações $0,049$ e $0,038 \text{ mg.L}^{-1}$ e respectivamente. (Figura 9). Isso pode ser explicado devido ao aumento do oxigênio dissolvido, que favoreceu a oxidação da amônia, convertendo-a em nitrito a jusante das estruturas.

Entretanto não se verificaram diferenças significativas entre as estações de amostragem a montante e a jusante do biotratamento ($N=4$; $T=0,0$, $p=0,506$).

Figura 9: Concentrações de nitrito a montante e jusante das estruturas de biofilme em um trecho do Rio Jaguaribe.

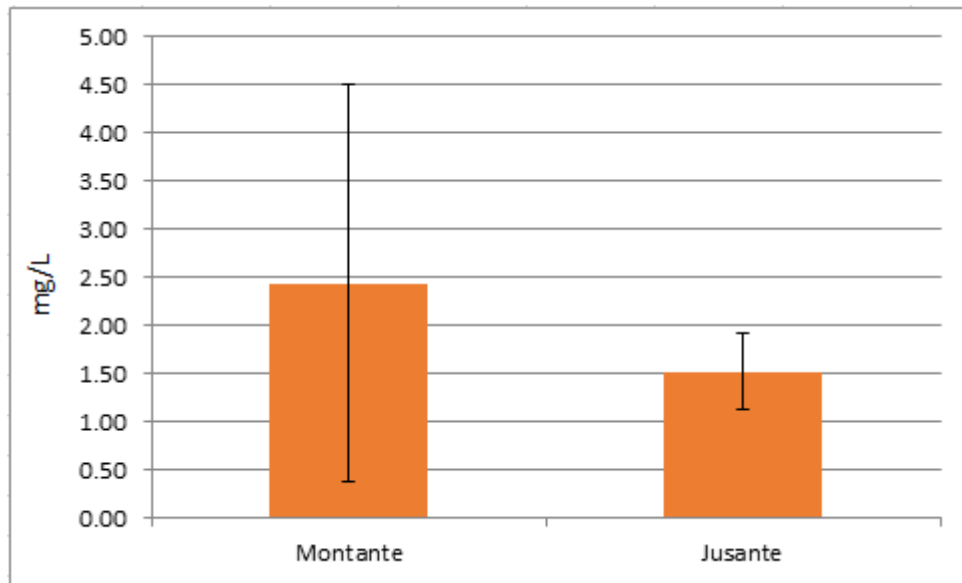


Fonte: Dados da pesquisa

O processo de conversão da amônia em nitrato é conhecido por nitrificação. Este processo dá-se por meio de bactérias do gênero *Nitrosomonas* que oxidam o íon amônio em nitrito e pelas bactérias *Nitrobacter* que oxidam nitrito a nitrato (PEREIRA; MERCANTE, 2005).

Assim, verificou-se uma tendência de menores concentrações de nitrato a jusante das estruturas $1,52 \text{ mg.L}^{-1}$ e a montante das estruturas, onde o biotratamento não exercia efeito, registraram-se maiores concentrações médias de $2,44 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 10), embora não se registrassem diferenças significativas ($N=4$; $T = 0,0$; $=0,260$). Autores como Marinho e Vieira (2018) também registraram comportamentos semelhantes em sistemas sob efeitos do biofilme.

Figura 10: Concentrações de nitrato a montante e jusante das estruturas de biofilme em um trecho do Rio Jaguaribe.

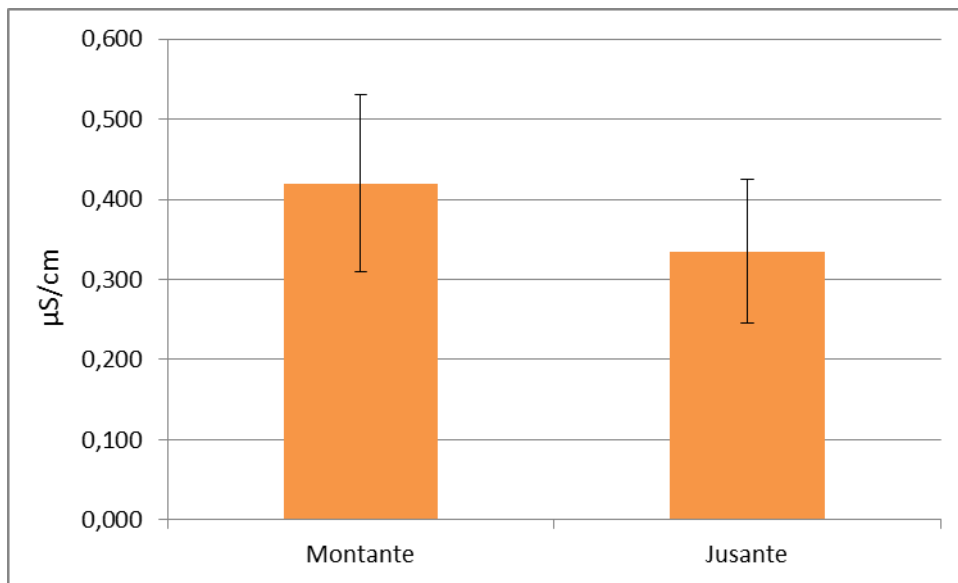


Fonte: Dados da pesquisa

Os valores de condutividade elétrica estão diretamente relacionados com a presença de sais no ambiente, além de estabelecer ligação com o processo de decomposição. Quanto maiores as taxas de decomposição maiores os valores de condutividade elétrica.

Verificou-se que a montante das estruturas os valores de condutividade foram mais elevados quando comparados com os valores a jusante (Fig.11), isso pode estar relacionado com o processo intenso de decomposição devido à entrada direta de esgotos domésticos que libera sais minerais na água (ESTEVEES, 2011). A diminuição a jusante dos valores pode estar relacionada com a absorção tanto pelo biofilme quanto pelas macrófitas, diminuindo os sais minerais presentes e consequentemente a condutividade elétrica. A condutividade elétrica apresentou diferenças significativas segundo o teste T. A variável condutividade elétrica apresentou diminuição dos valores médios observados, com diferença significativa pelo teste T (Fig. 18) (N=4; -2,1808; p=0,044), evidenciando que o biotratamento foi eficiente na redução desses valores ou interferindo na taxa de decomposição no ambiente ou aumentando a absorção pelas macrófitas e/ou biofilme.

Figura 11: Valores de condutividade elétrica a montante e jusante das estruturas de biofilme em um trecho do Rio Jaguaribe.



Fonte: dados da pesquisa

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 (ESTEVEZ, 2011).

As concentrações médias de fósforo total na área estudada estão apresentadas na Figura 12. Observa-se concentrações mais elevadas a montante das estruturas do biotratamento ($918,39 \text{ mg.L}^{-1}$), enquanto a jusante os valores foram bem inferiores, chegando a $428,86 \text{ mg.L}^{-1}$, mostrando que o biofilme e as macrófitas foram eficientes na redução desse composto. A análise estatística não apresentou diferenças significativas para esta variável a montante a jusante do biotratamento ($N=4$; $T=0,0$; $p=0,225$).

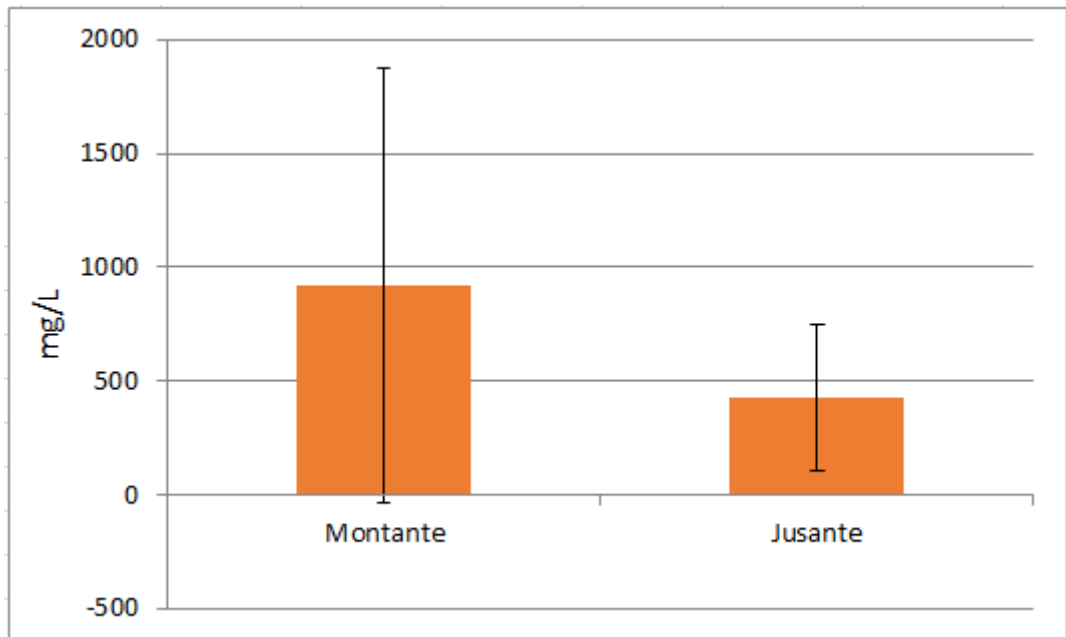
Comportamento semelhante também foi observado por Marinho (2018) após a instalação do sistema BioMac (biofilme + macrófitas) em outro rio urbano da capital paraibana, as concentrações de fósforo total também reduziram ao longo dos pontos analisados pelo autor.

O fosfato é a parcela do fósforo mais assimilável pelos vegetais aquáticos, exercendo assim influência direta na eutrofização dos corpos hídricos.

As concentrações médias de fosfato observados no ponto estudado no Rio Jaguaribe foram ligeiramente superiores a montante das estruturas do biotratamento, atingindo $0,098 \text{ mg.L}^{-1}$, as concentrações a jusante foram ligeiramente menores ($0,088 \text{ mg.L}^{-1}$) (Fig. 13), demonstrando que esse pode ser um importante sistema biorremediador para diminuir a carga

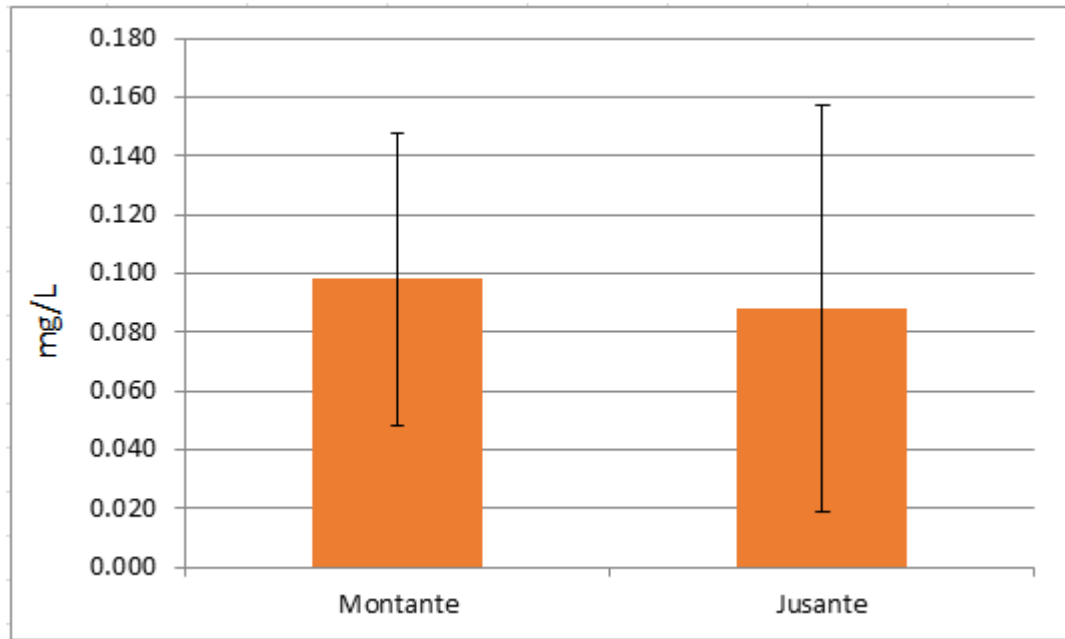
desse nutriente em ambientes eutrofizados. O mesmo comportamento também foi verificado no Rio Cabelo por Marinho (2018) e por Sousa (2014) em um experimento utilizando o sistema biofilme realizado na lagoa facultativa da estação de tratamento de esgotos da CAGEPA.

Figura 12: Concentrações de fósforo total a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.



Fonte: Dados da pesquisa

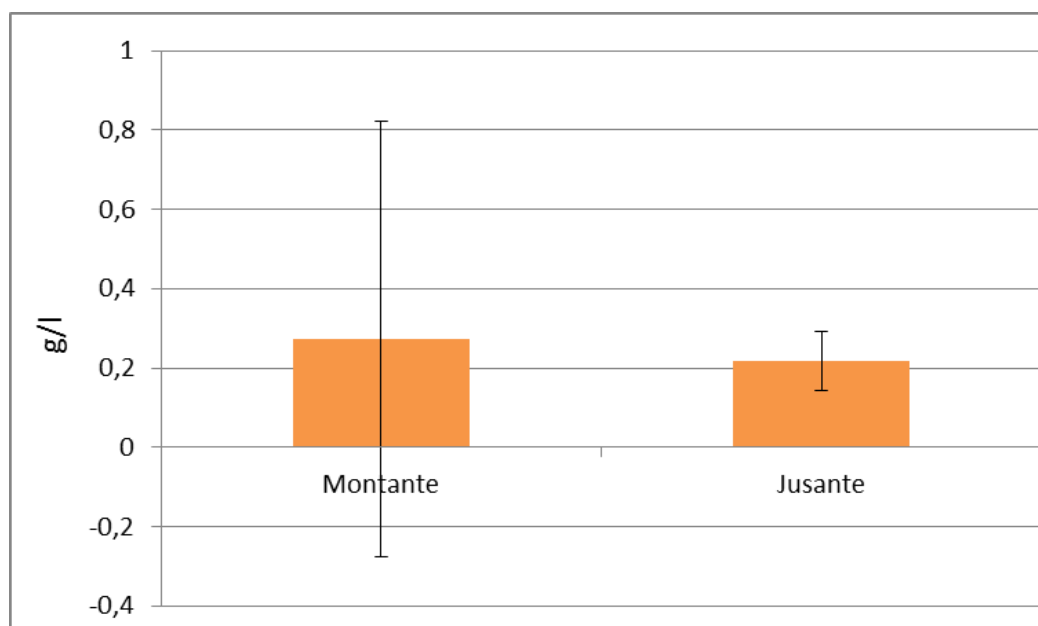
Figura 13: Concentrações de fosfato à montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.



Fonte: Dados da pesquisa

Em relação aos sólidos totais, verificou-se concentrações significativamente superiores a montante das estruturas em relação a jusante ($N=4$, $T=-2,20$; $p=0,041$). As concentrações variaram de 0,272 mg/l a 217 mg/l, respectivamente (Fig. 14). Essa diminuição significativa de sólidos totais dissolvidos reduz a turbidez do ambiente, proporcionando a penetração da luz e favorecendo a oxigenação.

Figura 14: Concentrações de sólidos totais a montante e jusante das estruturas de biotratamento em um trecho do Rio Jaguaribe.



Fonte: Dados da pesquisa

Analisando os dados desta pesquisa pode-se dizer que apesar de não ter havido diferença significativa na maioria dos parâmetros analisados na área com o biotratamento, foi possível observar uma pequena diminuição nas concentrações de alguns nutrientes, principalmente os fosfatados e a amônia e nitrato. Como o rio tem um fluxo de água e o percurso entre os biotratamentos ocorre em poucos segundos, é possível que com maior quantidade de sistemas de biotratamento (BioMac) se verifique uma diminuição cumulativa ao longo do rio, que apresente resultados significativos entre pontos amostrais. Como nesta pesquisa apenas um ponto de tratamento foi avaliado, o efeito observado ainda foi pequeno, mas é promissor em sistemas em sequência.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se que o sistema de autodepuração com biofilme e macrófitas é eficiente na diminuição de condutividade elétrica e de sólidos dissolvidos totais, apresentando diferenças significativas antes e após passar por um sistema biológico de biofilme e macrófitas, apesar do pouco espaço de tempo, em virtude do fluxo do rio, em análises instantâneas. Nas concentrações de outras variáveis como amônia (concentrações elevadas podem ser tóxicas aos organismos aquáticos), nitrato, fósforo total, fosfato verificou-se uma tendência de diminuição das suas concentrações após passar pelo sistema biológico favorecendo assim uma melhor qualidade de água a jusante das estruturas e diminuindo a concentração de compostos causadores da eutrofização.

Observou-se ainda um ligeiro aumento nas concentrações de OD na água e favorecendo melhores condições à biota aquática. Na análise realizada o nitrito foi o único composto que não apresentou diminuição de suas concentrações após passar pelo sistema de biotratamento, neste caso o biotratamento apresentou eficiência no processo de nitrificação, provavelmente pelo aumento do oxigênio dissolvido, passando de amônia a nitrito. 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, no entanto como choveu bastante durante o período de análises, o efeito diluidor das chuvas deve ter melhorado a qualidade de água, permitindo a presença dos mesmos.

Apesar de o biotratamento ter exercido melhorias significativas na condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos 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. A presença de fossas ecológicas nas residências, como círculos de bananeiras (para águas cinzas) e tanques de evapotranspiração (para águas negras) seriam uma opção viável e de baixo custo, para suprir a falta de saneamento básico verificada na bacia do Rio Jaguaribe.

O sistema de autodepuração por biotratamento mostrou bons resultados a níveis locais 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 melhoria por completo ao mesmo.

Seriam necessárias mais coletas, a fim de ter respostas mais robustas nas demais variáveis, que não apresentaram diferença significativa, o baixo valor de réplicas, associados a períodos de chuva, fizeram oscilar muito os valores, o que pode ter afetado os resultados, incluindo as análises estatísticas.

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.
- ALBANEZ, J. R.; MATOS, A. T. Aquicultura. In: MACEDO, J. A. B. *Águas & águas*. 3. ed. Belo Horizonte: CRQ - MG, 2007.
- ALLISON, D. G. The biofilm matrix. **Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research**. v. 19, n.2, p. 139-150, 2003.
- 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**, v. 13, n. 2, p. 109-115, 2009.
- AZEVEDO NETO, J.M. Novos conceitos sobre eutrofização. *Revista DAE*, 48(151): 22–28, 1988.
- 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, 319e326. 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 perifíton- biofilme.** Tese. Universidade Federal de Santa Catarina. 2005, 197p.
- BOOPATHY, R. Factors limiting bioremediation technologies. **Bioresource Technology**. v. 74, p. 63-67, 2000.
- BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. **Bacias Hidrográficas Urbanas.** In: GUERRA, Antônio José Teixeira (organizador). **Geomorfologia Urbana**. P. 74, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- BOYD, C. E.; MASSAUT, L.; A WEDDIG, L. J. Towards reducing environmental impacts of pond aquaculture. *Infofish International*, 2:27-33. 1998.
- 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. **Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama.** 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.
- 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**, v. 9, n. 1, p. 130 – 148, 2014.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Ambi-Agua**, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CARNEIRO, D.A.; GANGLIO, L.P; A Biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos. *Rev. Tecer*.v. 3, n. 4.- Belo Horizonte-2010

CARVALHO,L.C; SIQUEIRA, E. Q.; Qualidade da água do rio meia ponte no perímetro urbano do município de goiânia-goiás. **Reec-revista eletronica de engenharia civil**, Goiania-go, v. 1, n. 2, p. 19-33, jul. 2011

CETESB. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Relatório Técnico. CETESB, 2009, 46p.

CLARKE, Robin; KING, Jannet, **O Atlas da Água**. São Paulo: Publifolha, 2005.

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.**, v. 21, n. 4, p. 387-391, 2009.

DE FIGUEIREDO, D.R.; AZEITEIRO, U.M.; ESTEVES, S.M.; GONÇALVES, F.J.M.; PEREIRA, M.J. 2004. Microcystinproducing blooms - a serious global public health issue. **Ecotoxicology and environmental safety**, vol. 59, no. 2, p.151-63. ecológicos e metodológicos. Editora RIMA, pp 63. 2003.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 2011.

FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. P. C.; FIA, F. R. L.; OLIVEIRA, L. F. C. Fontes de Poluição e o Controle da Degradação Ambiental dos Rios Urbanos em

GAO, J; XIONG, Z; ZHANG, J; ZHANG, W; MBA, F. O. Phosphorus removal from water of eutrophic lake Donghu by five submerged macrophytes. **Desalination**, n. 242, p. 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**, v. 8, n. 7, p. 1-9, 2012.

GARCIAS CM & Afonso JAC. 2013. Revitalização de rios urbanos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, 1(1):131-144 Holz IH. 2011. Águas urbanas: da degradação à renaturalização. **Anais...** In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis – Vitória-ES, 2011.

GOMES, M. A. F. Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã. Jaguariúna - SP 2011. Disponível em: <http://webmail.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2019.

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, p. 1281-1289, 2008.

- HUTCHINSON, G.E. 1957 A Treatise on Limnology: Geography Physics and Chemistry. v.1, New York: John Wiley & Sons. 1.015p.
- KOZLOWSKY-SUZUKI, B. e BOZELLI, R.L. 2002. Experimental evidence of the effect of nutrient enrichment on the zooplankton in a Brazilian coastal lagoon. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 62, no. 4B, p. 835-846.
- KUBITZA, F. Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões. Jundiaí: Fernando Kubitza, 2003.
- LIBORIUSSEN, L. Production, regulation and ecophysiology of periphyton in shallow freshwater lakes. PhD thesis. National Environmental Research Institute. 2003.
- LIN, G. H.; SAUER, N. E.; CUTRIGHT, T. J. Environmental Regulations: A Brief Overview of their Applications to Bioremediation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, I-8, 1996.
- MACEDO, C. F. SIPAÚBA - TAVARES. L. H. Eutrofização e Qualidade da Água na Piscicultura: consequências e recomendações. Revista Bol. Inst. Pesca, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2010.
- 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, JÚNIOR. J. B. S. Estudo de Caso da Expansão do Shopping Manaíra e Comunidade São José Sobre o Rio Jaguaribe em João Pessoa-Pb. Revista Polêmica, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 71-89, 2016.
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN. J. L.; BAPTISTA, D. F. Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Technical Books, 2010.
- 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**, v. 7, n. 3, p. 659-674, 2014.
- 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. 2016, 89p.
- PANDEY, B.; FULEKAR, M. H. Bioremediation technology: A new horizon for environmental clean-up. **Biol. Med.**, v. 4, n. 1, p. 51-59, 2012.
- 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.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 43 - 60, 2008.

Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos** (online), v. 20, n. 1, Porto Alegre, jan./mar, 2015, p. 267 – 275.

REBOUÇAS, A. C. “Água Doce no Mundo e no Brasil”, In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G., (Org.), *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*, São Paulo – SP, Editora Escrituras. 2002.

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, 2012. v. 1, p. 123-140

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), v.1 n.1 jan. / abr. 2012.

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)**, v.3, n.1, p.74-80, Julho, 2013.

ROUSELL, E. & BURGESS, J. (1997). River Landscapes: changing the concrete overcoat? In: *Landscape Research*. (Orgs.) Penning-Roussel, E. et al – Vol.22, nº 22, England.

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.

SALVADOR. **RIGS - Revista interdisciplinar de gestão social** (Online), v.1 n.1 jan. / abr. 2012.

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), v. 34, n. 1, p. 35-53, 2003.

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, 2017. p. 228-236.

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

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

SHEKHAR, C. Nature cure: Bioremediation as a sustainable solution for polluted sites. *Chemistry & Biology*, p. 307-309, 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

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.

SIMSEK, G. Urban River Rehabilitation as an Integrative Part of Sustainable Urban Water Systems. **48th ISOCARP Congress**, Turkey, 2012

SIQUEIRA. W. G, APRIELI. F, MIGUÉIS. M. A. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas, Pará – Brasil. *Acta Amazonica*, V. 42(3): p. 413 – 422. 2012.

SNIS - **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento** (2016). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2016.

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, 2014.

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 Prodepa**, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

Sujo e poluído, o sagrado rio Ganges agoniza. Revista Veja 10 jul. 2017. Disponível em <<https://veja.abril.com.br/mundo/a-lenta-morte-do-rio-ganges-2017/>> Acesso em 30 mar. 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.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. In: TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. (org.). *Inundações urbanas da América do Sul*. Editora da Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH. 2003.

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.

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. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 24, 6-24. 1990.

WU, J; XIA, L; YU, Z; SHABBIR, S; KERR, P.G. In situ bioremediation of surface waters by periphytons. *Bioresource Technology*. 2013.

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**. v. 19, n. 3, p. 371-381, 2009.

ZANINI, H. L. H. T. **Caracterização limnológica e microbiológica do córrego rico que abastece Jaboticabal (SP)**. Jaboticabal, 75 f. 2009. Tese (doutorado em Microbiologia Agropecuária). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.