

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
CAMPUS SENADOR HELVÍDIO NUNES DE BARROS – CSHNB**

REGISALDO FEITOSA DOS SANTOS

**RESPOSTA DA CLOROFILA E PESO SECO DO PERIFÍTON A DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE NH_3 , PO_4^{3-} E FÓSFORO TOTAL EM UM RIO NO
PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE PICOS, PIAUÍ**

**PICOS
2014**

REGISALDO FEITOSA DOS SANTOS

**RESPOSTA DA CLOROFILA E PESO SECO DO PERIFÍTON A DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE NH_3 , PO_4^{3-} E FÓSFORO TOTAL EM UM RIO NO
PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE PICOS, PIAUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Piauí, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Me. Paulo César Lima Sales

**PICOS
2014**

Eu, **Regisaldo Feitosa dos Santos**, abaixo identificado(a) como autor(a), autorizo a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar, gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação abaixo discriminada, de minha autoria, em seu site, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, a partir da data de hoje.

Picos-PI, 21 de novembro de 2014.

Regisaldo Feitosa dos Santos

Assinatura

FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca José Albano de Macêdo

S237r Santos, Regisaldo Feitosa dos .
Resposta da clorofila e peso seco do perifiton a diferentes concentrações de NH_3 , PO_4^{3-} - fósforo total em um rio no perímetro urbano da cidade de Picos, Piauí / Regisaldo Feitosa dos Santos. - 2014.

CD-ROM : il; 4 ¼ pol. (40 p.)

Monografia(Licenciatura em Ciências Biológicas) -
Universidade Federal do Piauí, Picos-PI, 2014.
Orientador(A): Profa. Msc. Paulo César Lima Sales

1. Perifiton. 2. Biomassa. 3. Amônia. 4. Clorofila a I.
Titulo.

CDD 577

REGISALDO FEITOSA DOS SANTOS

**RESPOSTA DA CLOROFILA E PESO SECO DO PERIFÍTON A
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NH_3 , PO_4^{3-} E FÓSFORO TOTAL EM UM RIO
NO PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE PICOS, PIAUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Ciências Biológicas da
Universidade Federal do Piauí, Campus
Senador Helvídio Nunes de Barros, como
requisito parcial para obtenção do título de
Licenciado em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 11 / 03 / 2014

BANCA EXAMINADORA:

Paulo Cesar Lima Sales

Prof. Me. Paulo Cesar Lima Sales (Orientador)
Universidade Federal do Piauí-UFPI

João Marcelo de Castro e Sousa

Prof. Me. João Marcelo de Castro e Sousa (Examinador)
Universidade Federal do Piauí-UFPI

Eliesé Idalino Rodrigues

Prof. Me. Eliesé Idalino Rodrigues (Examinador).
Universidade Federal do Piauí-UFPI

A Deus que me conduziu nessa jornada e depois a minha família, em especial a minha avó, que me acreditou em todos os momentos até a realização deste trabalho. Dedico a vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiro agradeço a Deus que por amor deu-me forças nos momentos em que fraquejei levantando-me e animando-me para que eu pudesse continuar e seguir rumo ao meu objetivo, dando-me percepção de que as dificuldades seriam pequenas diante da vitória. Agradeço também pelos momentos felizes que passei. Muitíssimo obrigado, Senhor.

Depois a minha família, a minha sobrinha Maria Kauany, minha tia Edi e em especial a minha avó Maria Ferreira das Neves Santos, que foi e é o meu porto seguro o meu motivo maior que me faz continuar a lutar pelos meus ideais e também a minha saudosa mãe, embora ausente fisicamente mas viva em minha memória.

Aos meus amigos mais próximos, Francisco Sousa, Eliane, Isaías, Reginaldo, Suzana, Lenise e Ruthy, aos que colaboraram na realização do projeto: Leiciane, Edeilma e Andréia. A todos os amigos e parentes que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador professor, Me. Paulo César Lima Sales pelo exemplo de profissionalismo, por ter acreditado em mim, por ter tamanha boa vontade e paciência e também por ter apresentado um mundo novo de conhecimento da Comunidade Periférica, estando sempre disponível a contribuir com minha aprendizagem.

Agradeço também ao professor, Me. Eliesé que foi meu professor e que me inspirou a continuar e ao professor, Me. João Marcelo, que aceitaram a participar da banca avaliadora, contribuindo para esse momento tão importante na minha vida.

Aos Técnicos Administrativos: Thyago Henrique, Eder, Delmárcio e Mirvênia.

Aos Técnicos de Laboratorio: Tersdalva, Jairton, Polyana, Rener e Thyago.

A todos os professores que contribuíram de forma direta ou indireta para o aprimoramento da minha aprendizagem, crescimento profissional e pessoal.

OBRIGADO!

“A natureza não faz milagres, faz revelações.”

Carlos Drummond de Andrade.

RESUMO

Dentre as importâncias das pesquisas sobre a comunidade perifítica destaca-se o seu potencial como bioindicador, o seu uso na aquicultura e o estudo voltado para pesquisas ecológicas, entretanto seu estudo ainda é escasso na maior parte das regiões brasileiras e nulo no estado de Piauí. O presente estudo objetivou verificar diferenças significativas entre três setores do rio Guaribas, (zona pré-urbana, zona urbana e zona pós-urbana) dentro dos limites da cidade de Picos, em relação às concentrações dos nutrientes, amônia, fosfato e fósforo total, e dos valores da biomassa perifítica. Foram realizadas nove coletas, distribuídas em três pontos de cada setor. Foram coletadas amostras de água para determinação dos nutrientes e de pecíolos da vegetação. O perifíton foi removido dos pecíolos por raspagem sendo em seguida filtrados para a determinação do peso seco livre de cinzas e clorofila *a*. Uma matriz de correlação foi gerada para determinar quais variáveis estudadas estão correlacionadas entre si e uma análise de regressão múltipla foi utilizada para determinar o quanto cada variável biótica pode ser determinada pelos valores das variáveis abióticas. Para determinar se um setor difere do outro, uma ANOVA de um fator foi utilizada, sendo aplicado o teste de significância de Tukey para determinar em qual variável os setores diferem entre si. As análises demonstraram não haver redução dos nutrientes do setor urbano para o pós-urbano. Não ocorreu correlação significativa entre as formas de fósforo estudadas e a biomassa perifítica. Os três setores estudados apresentaram diferenças significativas entre si apenas quando consideradas as variáveis abióticas.

Palavras-chave: Perifíton. Biomassa. Amônia. Fósforo. Clorofila *a*.

ABSTRACT

The importance of research on periphyton stands out for its biomarker potential use in aquaculture and the study focused on ecological research, however its study is still scarce in most Brazilian regions, including in the state of Piauí. The present study aimed to analyze significant differences between the three sectors of River Guaribas (pre-urban, urban and post-urban area) within the city limits of the city of Picos, in relation to concentrations of nutrients, ammonia, phosphate and total phosphorus, and values of periphyton biomass. Nine data collection, distributed in three points of each sector were performed. Water samples were collected for determination of nutrients and petioles of vegetation. The periphyton was removed by scraping the stems then being filtered to determine ash -free dry weight, and chlorophyll a. A correlation matrix was generated to determine which variables studied are correlated and a multiple regression analysis was used to determine how much each biotic variable can be determined by the values of abiotic variables. To determine if a sector differs from the other, a one-way ANOVA was used, and applied significance of Tukey test to determine differs from which variables the sectors differ from each other. The analyzes showed no reduction of nutrients from urban sector for post - urban. There was no significative correlation in the forms of phosphorus and periphyton biomass. The three sectors analyzed showed significative differences among themselves only when considered abiotic variables.

Keywords: Periphyton. Biomass. Ammonia. Phosphorus. Chlorophyll a.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO..... | 10 |
| O PERIFÍTON | 12 |
| 1.1 Histórico e conceito..... | 12 |
| 1.2 Estudos sobre a comunidade perifítica | 13 |
| 1.3 Habitat e componentes da comunidade perifítica | 14 |
| 1.4 Importâncias da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos..... | 15 |
| 1.5 Estrutura da comunidade perifítica..... | 16 |
| 1.6 Dinâmica da comunidade perifítica | 19 |
| 1.7 Variabilidade sucessional..... | 19 |
| 1.8 Nitrogênio..... | 21 |
| 1.9 Fósforo | 22 |
| 1.10 Assimilação de nutrientes por organismos autotróficos e heterotróficos em ambientes aquáticos | 23 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 26 |
| 1.11 Caracterização da área de estudo | 26 |
| 1.12 Coletas..... | 26 |
| 1.13 Análise laboratorial | 28 |
| 1.14 Análise estatística dos dados | 28 |
| RESULTADOS | 29 |
| DISCUSSÃO..... | 34 |
| CONCLUSÃO..... | 38 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 40 |

INTRODUÇÃO

O perifiton é definido como uma complexa comunidade de microrganismos, detritos orgânicos e inorgânicos aderidos a substratos inorgânicos ou orgânicos, vivos ou mortos (WETZEL, 1983 apud BURLIGA; SCHWARZBOLD, 2013).

Através das interações entre os organismos da comunidade e os nutrientes presentes no ambiente aquático a energia é transferida ao longo da teia alimentar, assim o perifiton desempenha extraordinário papel no metabolismo de um ecossistema aquático, fazendo-se necessário entender a relação entre eles.

Os nutrientes são considerados como fatores limitantes; desta forma o crescimento dos organismos (biomassa) aumenta e diminui de acordo com a disponibilidade dos mesmos embora outros fatores como: turbidez, luminosidade e fluxo hidrológico também causem modificações na biomassa e produção da comunidade perifítica, assim a disponibilidade de nutrientes possui influencia direta sobre a biomassa e clorofila.

A maior parte dos estudos com a comunidade perifítica avalia a estrutura da comunidade, sendo a maioria das pesquisas pioneiras em muitos dos ecossistemas continentais. A biomassa do perifiton tem sido avaliada através da análise do peso seco, peso seco livre de cinzas e pigmentos fotossintetizantes e biovolume total. A obtenção destes dados serve de base para discussões a respeito das características da comunidade perifítica (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

As pesquisas voltadas para o perifiton são relevantes à medida que a comunidade é considerada um dos principais produtores nos ecossistemas aquáticos (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003), sendo utilizada como tratamento de águas residuais e alimento na piscicultura (AZIM et al., 2005). Apresenta ainda um importante papel como bioindicador (LOBO, 2013; MORESCO; RODRIGUES, 2013) sendo considerado ainda como um modulador químico, convertendo muitas formas inorgânicas em orgânicas (FERNANDES; ESTEVES, 2011), além de sua utilização para estudos ecológicos (STEVESON; BOTHWELL; LOWE, 1996).

No Brasil, a maioria dos estudos realizados com a comunidade perifítica foi realizada nas regiões Sul e Sudeste, sendo Paraná e São Paulo os estados com o maior número de publicações. Os trabalhos publicados nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, somam juntos apenas 22% dos estudos para o Brasil, não sendo registrada nenhuma publicação para o estado do Piauí, sendo este carente de

pesquisas relacionadas à comunidade perifítica (SCHNECK, 2013).

Levando-se em conta a importância do perifíton para os ambientes aquáticos e a escassez de estudos para a região Meio-Norte e sua completa ausência para o estado do Piauí, o estudo dessa comunidade para o estado torna-se relevante à medida que vem a contribuir com o entendimento dessa comunidade para a região, em especial para o bioma caatinga, sendo o rio Guaribas, no perímetro urbano de Picos, o sítio escolhido para iniciar o estudo pioneiro dessa comunidade no estado do Piauí.

Dessa forma o presente estudo partiu dos seguintes problemas de pesquisa: (a) as concentrações dos fatores bióticos influenciam na biomassa perifítica e no seu índice autotrófico? E (b) Há diferenças significativas entre setores do rio Guaribas no perímetro urbano de Picos no que tange às concentrações dos fatores abióticos amônia, fosfato e fósforo total, bem como nos valores da biomassa do perifíton nesses setores?

As seguintes hipóteses de pesquisa foram levantadas: (a) os valores para as variáveis bióticas são significativamente correlacionadas com as concentrações das variáveis abióticas? (b) Setores do rio Guaribas são significativamente diferentes entre si, no que concerne às variáveis abióticas, amônia, fosfato e fósforo total, e em relação às variáveis bióticas peso seco, peso seco livre de cinzas, clorofila e o índice autotrófico? E (c) os valores e concentrações das variáveis bióticas e abióticas são menores no setor pré-urbano, maiores no setor urbano, devido ao aporte de efluentes urbanos, e intermediários no setor pós-urbano devido à depuração dos efluentes? Ou seja, há diminuição das concentrações no decorrer do curso do rio da primeira para a última zona, já que ocorre diminuição de efluentes tornando a zona pós-urbana uma zona de recuperação da qualidade da água?

O estudo visou ainda descrever transversalmente a flutuação das concentrações dos nutrientes no rio ao longo do perímetro urbano e relacionar os nutrientes com a biomassa perifítica. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar diferenças significativas entre setores do rio Guaribas no perímetro urbano do município de Picos em relação a concentrações dos nutrientes, amônia, fosfato e fósforo total, e dos valores da biomassa perifítica.

O PERIFÍTON

1.1 Histórico e conceito

Historicamente o termo “bentos” representou a primeira tentativa para definir organismos sésseis ou errantes que viviam na interfase sólido-água nos ecossistemas aquáticos (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

O termo de origem grega “periphyton”, que significa ao redor de planta, foi utilizado pela primeira vez por Behning em 1924 para definir organismos aderidos a substratos artificiais na água, o termo tornou-se amplo sendo então perifíton para todos os organismos aquáticos que crescem em superfícies submersas (BURLIGA; SCHWARZBOLD, 2013). Em 1983, Roos denominou euperifíton a comunidade que está assentada e aderida a um substrato por vários mecanismos, como rizóides, túbulos ou outras estruturas de fixação (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Outros termos são utilizados na língua alemã e são sinônimos de perifíton são eles: “Neireden”, “Bewchs”, “Laison”, “Belag” e “Besatz” e na língua inglesa: “attached”, “sessile”, “sessile-attached”, “sedentary”, “seeded-on”, “attached-materials”, “slime”, “slime-growths” e “coatings” (BURLIGA; SCHWARZBOLD, 2013).

O termo é abrangente englobando muitos dos termos pretéritos. Metodologicamente é impossível separar organismos aderidos, os euperifíticos, de organismos associados, os pseudoperifíticos e metafíticos, principalmente quando se avalia estoque, biomassa e processos, dentre outros aspectos funcionais da comunidade, sendo todos considerados nos estudos (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

O perifíton pode ser classificado de acordo com o tipo de substrato no qual se desenvolve. Os termos utilizados nas mais diversas pesquisas são: epifíton para organismos que crescem sobre plantas aquáticas; epilíton para comunidade que se desenvolve sobre pedras e rochas, mais facilmente observadas em ambientes lóticos; epipélon para organismos que crescem sobre grãos de sedimento; episâmon para comunidade que se desenvolve por entre grãos de sedimento com areia, como algumas espécies de Euglena algumas diatomáceas, já registradas em ambientes salinos; epizoon para comunidade que cresce sobre animais, conchas de moluscos, exoesqueleto de crustáceos, cascos de tartarugas, dentre outros; e epixílon para o

perifíton que cresce sobre madeira (AZIM et al, 2005; FERNANDES; ESTEVES, 2011).

O termo “algas bentônicas” é utilizado para organismos que crescem sobre ou estão associados com a zona mais profunda de um corpo d’água, por exemplo, sedimentos ou rochas. No Brasil, o termo perifíton é mais utilizado para organismos microscópicos, sendo o termo “algas bentônicas” empregadas usualmente para as macroalgas, organismos que são visualizados a olho nu (BURLIGA; SCHWARZBOLD, 2013).

Muitos foram os termos adotados gerando grande confusão no decorrer do tempo em razão de sinonímias e mudanças. Até que em 1982, em Vaxjö, Suécia, no 1º Workshop Internacional (“Periphyton of Freshwater Ecosystems”), padronizou-se a definição de perifíton como uma “complexa comunidade de microorganismos (bactérias, algas, fungos e animais), detritos orgânicos e inorgânicos aderidos a substratos inorgânicos ou orgânicos, vivos ou mortos” (WETZEL, 1983 apud SHWARZBOLD, 2013).

1.2 Estudos sobre a comunidade perifítica

Na história da Limnologia, a comunidade perifítica foi negligenciada por muitos anos, passou a ser avaliada somente por conta da mera curiosidade científica dada pelos estudiosos do fitoplâncton para o biofilme que se desenvolvia em substratos submersos nos ecossistemas aquáticos, sendo ainda hoje de pouco interesse dos pesquisadores devido o desconhecimento de seu funcionamento e importância, além da complexidade desta comunidade que é constituída por diferentes grupos de organismos e pelas dificuldades metodológicas para amostragem e análise. Porém as importantes funções destes organismos no metabolismo dos ecossistemas aquáticos têm despertado atenção para a necessidade crescente de ampliar o conhecimento da dinâmica desta comunidade (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

Schneck (2013) fez um estudo cienciométrico dos estudos voltados para a comunidade perifítica no Brasil. Segundo a autora, no Brasil, os primeiros estudos ecológicos sobre perifíton em ambientes aquáticos continentais foram realizados a partir do final da década de 1960, podendo citar como pioneiros o trabalho de Bicudo e Skvortzov, publicados em 1968 nos anais do 19º Congresso Brasileiro de Botânica

e as dissertações de Rocha em 1979.

Para Schneck (2013), um importante marco no desenvolvimento de estudo da comunidade perifítica no Brasil foi a publicação pela revista *Acta Limnológica Brasiliensia*, de trabalhos que discutem os diferentes métodos empregados em estudos qualitativos, quantitativos, ecológicos e de bioindicação com algas perifíticas (BICUDO, 1990; SCHWARZBOLD, 1990; WATANABE, 1990).

Ainda segundo Schneck (2013), a partir do início do século XXI houve uma tendência de crescimento no número de artigos publicados, sendo 11 trabalhos entre os anos de 2000 e 2011, porém os estudos ainda são pouco diante da grande biodiversidade de organismos perifíticos existentes e da biodiversidade de ambientes aquáticos em nosso país. Se comparada a outros grupos de organismos, como macrófitas aquáticas e fitoplâncton, a comunidade perifítica é pouco estudada no Brasil.

Schneck (2013) afirma ainda que Thomaz e Bini em 2013 ao fazerem uma avaliação dos estudos sobre macrófitas aquáticas realizadas no Brasil encontraram 166 trabalhos científicos publicados em revistas nacionais até 2000. Os mesmos fizeram levantamento avaliando os trabalhos publicados pela *Acta Limnológica Brasiliensia* e observaram que o perifíton e as bactérias são os dois grupos menos estudados e que o fitoplâncton, o zooplâncton e macrófitas aquáticas são os grupos de organismos mais estudados.

Vale ressaltar que a maioria dos estudos apontados são voltados principalmente para o perifíton autotrófico. Bonecker e Fulone (2013) destacam que o estudo do perifíton heterotrófico ainda é negligenciado, não obstante a importância dessa comunidade para os sistemas aquáticos, sendo os organismos encontrados nessa comunidade os mesmos grupos encontrados no zooplâncton, tais como cladóceros, copépodes, protozoários, flagelados, ciliados, rotíferos, entre outros.

1.3 Habitat e componentes da comunidade perifítica

O perifíton é considerado um biofilme ou bioderme que varia em espessura e se desenvolve em superfície de rochas, em vegetação ou em qualquer substrato submerso em água doce ou salobra e também em superfícies úmidas. É frequentemente observado como “manchas” ou “tapetes” ou “cabeleiras” verdes, verde-amareladas, ou marrons em diversos substratos, seja em regiões tropicais,

temperadas, desérticas e polares (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

À comunidade perifítica correspondem, algas de todas as Classes (principalmente algas filamentosas, unicelulares e coloniais, que apresentem estruturas de fixação), as quais podem corresponder de 95 a 99% de toda a comunidade, mesmo com muitos componentes heterotróficos como, por exemplo, protozoários sésseis ou livres, fungos, bactérias e alguns outros animais com poucos centímetros de comprimento, os quais, apesar de não estarem incluídos na definição, fazem parte dos processos da comunidade e são considerados nos estudos (WETZEL, 1990 apud FERNANDES; ESTEVES, 2011).

1.4 Importâncias da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos

A comunidade perifítica é considerada um dos principais produtores responsáveis pela produtividade primária nos ecossistemas aquáticos, principalmente em riachos e lagoas, o qual pode contribuir com cerca de 70 a 90% da produtividade primária total; é importante fonte de matéria orgânica, pois, constitui-se a base da cadeia alimentar desses ambientes por sua biomassa ser utilizada por outros organismos. Portanto sua biomassa possui grande valor nos estudos da produtividade primária, visto que, espécies com grande biomassa passam a ter forte influência na transferência de energia e de matéria para os demais níveis tróficos do ecossistema (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

Mudanças na biomassa em dado momento são usadas como estimativas indiretas da produtividade. Sendo a clorofila *a*, o pigmento presente em todos os grupos de algas, utilizada como estimativa de biomassa, tanto para o fitoplâncton, como para o perifíton. No caso da comunidade perifítica, a quantificação de sua estrutura pode ser baseada na avaliação não apenas da enumeração de indivíduos vivos, mas também através da biomassa (WATANABE, 1990).

Diversos estudos têm apontado a importância da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos. Por serem primeiramente autotróficos; segundo, por desempenhar um papel fundamental, promovendo uma relação entre os componentes químicos, físicos e biológicos (LOWE; PAN, 1996).

Outra relevância do perifíton como bioindicador da qualidade da água e de seu estado trófico também foram relatados por outros estudos, principalmente para

rios e lagos (COSTA; MACHADO; FERNANDES, 2007). Os resultados evidenciam que o perifíton é capaz de acumular grandes quantidades de substâncias poluentes como inseticidas, herbicidas (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

Existem alguns benefícios de se utilizar o perifíton como bioindicador em estudos ambientais; primeiro, por apresenta modo de vida sésil e curto ciclo de vida; segundo, fazendo com que respondam rapidamente às mudanças ambientais se comparados aos organismos planctônicos; terceiro, a elevada riqueza de espécies confere a esta comunidade maior gama de resposta às alterações nos ambientes (FERRAGUT; BICUDO, 2009).

Apesar de toda esta importância, ainda há escassez de informações sobre a comunidade perifítica, especificamente no que tange o processo dinâmico da comunidade. Tal evento se deve à extrema heterogeneidade na distribuição das microalgas seus nos variados habitats litorâneos, os quais por sua vez, são mais suscetíveis às flutuações das variáveis abióticas do que a região limnética, onde predomina o plâncton. Outro fator importante é o fato da própria comunidade ser composta por organismos muito diversos, autotróficos e heterotróficos; mesmo entre as algas, há representantes usuais de todas as divisões, o que torna mais difícil a identificação dos mesmos e a compreensão de suas relações ecológicas (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

1.5 Estrutura da comunidade perifítica

A maior parte dos estudos com o perifíton visa avaliar a estrutura da comunidade representada em sua grande parte por algas que compõem cerca de 90% do total da sua composição (COSTA; MACHADO; FERNANDES, 2007).

A estrutura da comunidade perifítica é descrita através dos seus principais atributos: riqueza específica, composição, frequência de ocorrência, densidade total e/ou relativa das classes, dominância, abundância, diversidade específica e equitabilidade, além da fisionomia, definida como o arranjo espacial dos componentes do biofilme (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

A ocorrência e persistência das espécies da comunidade perifítica nos ambientes aquáticos dependem da capacidade de adaptação e do limite de tolerância das espécies, o crescimento ocorre em condições ambientais próximo ao ótimo do organismo. Por outro lado a população diminui quando a influência sobre

os limites de tolerância pelos organismos (BEREZINA, 2001 apud BONECKER; FULONE, 2013).

Em estudos avaliando a estrutura da comunidade de algas perifíticas, observou-se que a precipitação pluviométrica é o fator principal responsável pela alteração da estrutura da comunidade. Sendo o pulso de inundação a principal força reguladora da produtividade nos sistemas rios áreas alagáveis (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

Em ecossistemas lóticos a velocidade da corrente influencia a produtividade das algas, o acúmulo de matéria orgânica e a estrutura da comunidade, sendo que a produção das algas, a exportação, e a taxa de renovação são maiores quando a velocidade de corrente é alta, podendo ocorrer desestabilização da comunidade. Alguns autores dizem que correntezas moderadas favorecem o crescimento abundante do perifíton (MOSCHINI-CARLOS, 1996 apud FERNANDES; ESTEVES, 2011).

Há um padrão hierárquico de interação entre os fatores ecológicos, estes afetam a estrutura e o funcionamento das algas perifíticas podendo ser categorizado de acordo com a atuação dos fatores, sejam eles de forma direta ou indireta na escala de variabilidade dessas variáveis (STEVENSON; BOTHWELL; LOWE, 1996). As algas perifíticas crescem e se desenvolvem nos ambientes lóticos como resultados de interações que envolvem a hidrologia, qualidade da água e os fatores bióticos (BIGGS, 1996 apud MORESCO; RODRIGUES, 2013).

Outra abordagem moderna nos estudos do perifíton é a avaliação das formas de vida da comunidade subdividindo-as em quatro grupos: unicelular, colonial, filamentosa e agregada, sendo as agregadas as que se agrupam, porém não formam colônias. Há também a divisão quanto às estruturas de fixação podendo ser móveis, associados sem a estrutura de fixação e tipicamente planctônicas, emaranhada que também não apresentam estruturas de fixação sendo tipicamente perifíticas entrelaçadas ao biofilme pela forma filamentosa ou pela mucilagem que produzem ou com alguma estrutura de fixação, além de heterotricosas e prostradas (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

Outra abordagem para o estudo da comunidade perifítica diz respeito aos grupos funcionais. Define-se como grupo ou tipo funcional:

Um grupo de organismos semelhantes em um certo conjunto de atributos e semelhantes nas suas respostas a fatores ou nos seus efeitos nos ecossistemas (e.g., recursos disponíveis, regime de perturbações, produção de biomassa, nível de herbivoria, acúmulo de serrapilheira) (PILLAR, 2007, p. 1).

Dentre os atributos utilizados para a definição de tipos funcionais pode-se citar as expressões observáveis de formas ou comportamentos associados, quanto à ocorrência ou performance dos organismos, a alterações em variáveis ecológicas (PILLAR, 2007).

Os dois principais fatores controladores da biomassa perifítica são o distúrbio físico e o suprimento de recursos. Assim, para o perifíton, dois atributos adaptativos aumentam a possibilidade de sobrevivência para o indivíduo: a habilidade para resistir ao distúrbio e colonizar áreas perturbadas (BURLIGA, 2010).

Além dos atributos funcionais, atributos estruturais da comunidade perifítica podem ser estudados por meio de medidas e estimativas (FERRAGUT; BICUDO; VERCELLINO, 2013). Os principais atributos estruturais utilizados no estudo da comunidade perifítica estão sintetizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Atributos estruturais da comunidade de algas perifíticas relacionadas às variações das condições ambientais.

| Atributos estruturais | Medidas / Estimativas |
|------------------------------|---|
| Biomassa | Clorofila <i>a</i> |
| | Peso Seco Livre de Cinzas (PSLC) |
| | Biovolume total das algas |
| Estrutura de espécies | Densidade algal |
| | Biovolume algal |
| | Abundância relativa das espécies |
| | Biovolume relativo das espécies |
| | Grupo funcional |
| Diversidade | Índices de diversidade |
| | Riqueza de espécies |
| | Equitatividade |
| | Dominância |
| Composição química | Razão clorofila <i>a</i> : feofotina |
| | Razão clorofila <i>a</i> : PSLC (Índice autotrófico) |
| | Conteúdo de C, N ou P (% PS, % PSLC, unidade de área) |
| | Razão molar N: P |

Fonte: Ferragut, Bicudo e Vercellino, 2013.

Dos atributos supracitados, a clorofila *a* fornece a indicação da quantidade total de organismos autotróficos vivos que compõem a amostra da comunidade perifítica, conhecida também como biomassa fotossintética. O peso seco livre de cinzas (PSLC) é uma estimativa da matéria orgânica da amostra, incluindo organismos heterotróficos e autotróficos, bem como detritos (FERRAGUT; BICUDO; VERCELLINO, 2013). O índice autotrófico (IA) é o quociente entre o PSLC e clorofila *a* (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

O IA determina a natureza trófica da comunidade perifítica. Valores da ordem de 50 a 200 são indicativos de natureza autotrófica, enquanto que valores superiores a 200 indicam comunidade predominantemente heterotrófica (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003; FERRAGUT; BICUDO; VERCELLINO, 2013).

1.6 Dinâmica da comunidade perifítica

O perifíton é funcionalmente um microcosmo que inclui processos internos autotróficos e heterotróficos ambos simultaneamente em sua bioderme. Sua dinâmica deve ser avaliada com escalas de tempo que envolvam as taxas de mudanças na composição de espécies e na biomassa (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

A composição das espécies e a dinâmica dependem das condições hidrológicas, do estado trófico da água, da turbulência, velocidade da corrente, sazonalidade, intensidade e qualidade da luz, natureza e qualidade do substrato, composição química, rugosidade, herbivoria e competição intra e interespecífica (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

Conforme aumenta a profundidade e diminui a penetração de luz, a comunidade perifítica torna-se mais heterotrófica, em águas subterrâneas a comunidade é totalmente heterotrófica e utilizam substratos orgânicos alóctones (BONECKER; FULONE, 2013).

1.7 Variabilidade sucessional

A sucessão é o processo de substituição e/ou adição de espécies que começa quando uma ou mais espécies se instalam em um substrato anteriormente não ocupado. A sucessão ecológica é a colonização sucessiva e contínua de um local por certas populações de espécies acompanhada da extinção de outras. São

processos importantes e devem ser considerados nos estudos da comunidade perifítica (TORGAN et al., 2013).

As características estruturais da comunidade perifítica tais como riqueza de espécies e densidade tende a atingir valores mais elevados nos estágios maduros da sucessão dependendo das estações do ano e das adaptações das espécies colonizadoras (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

O evento de sucessão se inicia com aumento da biomassa total, segue com o aumento da produção primária, estruturação complexa das comunidades e maior segregação entre espécies mais próximas, intensificando o desenvolvimento de mecanismos de homeostase que promovem maior constância no tempo de composição da população e da concentração de distintas substâncias no meio (TORGAN et al., 2013).

A comunidade perifítica apresenta diferenças estruturais na sucessão e colonização com padrões generalizados e a fase inicial simples, estas dependentes das trocas com o meio circundante caracterizado pela presença de bactérias, algas unicelulares menores seguidas de maiores, com estruturas de fixação, colônias maiores e filamentos simples na fase exponencial, seguidos por filamentos, ramificados, heterotríquios, diatomáceas, pedunculadas, em roseta, perifíton secundário, (diatomáceas, filamentos curtos de Cyanobacteria, algas verdes unicelulares crescendo sobre as filamentosas), entremeados de componentes heterotróficos (bactérias, protozoários, fungos, larvas) que caracterizam a fase madura ou estacionária da comunidade (FERNANDES; ESTEVES, 2011).

A composição biológica das comunidades aderidas varia de acordo com as interações e as condições ambientais, incluindo fatores como intensidade da luz, velocidade da correnteza e natureza das superfícies disponíveis, desta forma o desenvolvimento do perifíton começa com a formação de um filme de macromoléculas (proteínas e polissacarídeos), este que é seguido por colonização bacteriana, diatomáceas e, finalmente, pelos demais grupos de algas e outros organismos (OLIVEIRA, 2013).

1.8 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos principais elementos químicos da natureza sendo o gás nitrogênio (N_2) um dos mais abundantes na natureza e um dos principais elementos da biosfera, desta maneira é essencial para o metabolismo e biomassa, constituindo biomoléculas chave como proteínas, peptídeos e aminoácidos (ESTEVEZ; AMADO, 2011).

As formas de N são classificadas nas seguintes categorias: N orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton, peixes, etc.) ou detritos (NOP, normalmente compostos com tamanho superior a 0,2 ou 0,45 μm , de acordo com a convenção dos estudos). N orgânico dissolvido (NOD) sob a forma de compostos lixiviados (aminoácidos peptídeos, purinas, etc.; em geral substâncias polares solúveis em água, compostos de tamanho inferior a 0,2 ou 0,45 μm), a partir de organismos senescentes ou mortos como macrófitas aquáticas e organismos fitoplanctônicos e N inorgânico dissolvido (NID) pode ser encontrado sob a forma de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio molecular (N_2), (ESTEVEZ; AMADO, 2011).

O (N) pode representar até cerca de 10% da biomassa de uma célula bacteriana durante a fase de crescimento, período em que ocorre grande atividade metabólica na síntese protéica (ESTEVEZ; AMADO, 2011).

É importante destacar que para que o ciclo do nitrogênio se complete (desde a entrada nos ecossistemas aquáticos sob formas assimiláveis pelos organismos até sua saída sob a forma de nitrogênio molecular), é necessária a existência de áreas em aerobiose e anaerobiose (ESTEVEZ; AMADO, 2011).

A atmosfera dispõe da maior parte de (N), mas até que ele seja usado pelos organismos vivos na composição de suas biomoléculas o nitrogênio passa por um processo denominado fixação do nitrogênio (ESTEVEZ; AMADO, 2011).

O amônio origina-se da atividade das bactérias heterotróficas, como um produto final da decomposição direta das proteínas ou de outros compostos orgânicos nitrogenados, este é assimilado diretamente pelas algas, com baixo custo energético enquanto o nitrato é dispendioso (FELISBERTO; MURAKAMI, 2013).

1.9 Fósforo

O fósforo é encontrado em uma única forma inorgânica que dissolvido corresponde principalmente ao ortofosfato (P-orto) e outros fosfatos, estes presentes em águas continentais é encontrado em diferentes formas ou frações sendo estas solúveis e insolúveis, desta forma a ciclagem do fósforo é mediada por processos químicos e biológicos entre os diferentes compartimentos do ecossistema aquático, assim o fosfato inorgânico dissolvido (PID), é mineralizado e liberado através da excreção de compostos orgânicos por organismos vivos e a decomposição da matéria e depois regenerado também pela ação de organismos vivos. (ESTEVEES; PANOSSO, 2011).

O fósforo particulado (P particulado orgânico) inclui o fosfato retido em partículas, como argilas e por último o fósforo dissolvido orgânico (POD) produzido por organismos vivos ou em decomposição, inclui compostos como nucleotídeos, colóides orgânicos e ésteres de fosfato de baixo peso molecular. Tanto (POD) quanto (PID) são retidos a materiais coloidais e levados à sedimentação para o hipolímnio. Em especial o ortofosfato é a forma preferida para assimilação dos organismos, que usam o elemento na biossíntese de matéria orgânica e o incorpora na fração orgânica particulada (POP), que inclui o fósforo presente em estruturas celulares de organismos vivos (excretas) ou mortos em partes de organismos e fezes esta é a maior parte do fósforo encontrado em sistemas aquáticos e compõem as células de organismos vivos e detritos na zona, limnética e no sedimento. (ESTEVEES; PANOSSO, 2011).

O fósforo participa de processos fundamentais nos seres vivos como armazenamento de energia (adenosina trifosfato ATP), estruturação da membrana celular (através de fosfolipídios), transferência da informação genética (componentes dos ácidos nucléicos, DNA e RNA), e no metabolismo celular como componente de enzimas e vitaminas (ESTEVEES; PANOSSO, 2011).

O fósforo junto ao nitrogênio pode regular a produtividade primária aquática na maioria das águas continentais, em regiões tropicais, subtropicais e temperadas. Pelo fato de controlar a produção primária, é responsável pela eutrofização artificial desses ecossistemas. A resposta dos produtores primários ao enriquecimento por N ou P pode ser afetada por fatores locais como características hidrológicas do sistema aquático, hidrologia e uso do solo na bacia de drenagem, padrões de

herbivoria e limitação de luz (ESTEVEES; PANOSSO, 2011).

Para a limnologia toda fonte de fósforo tem importância, em ênfase o P-total que pode ser utilizado como estimativa do grau de fertilização (estado trófico) do ambiente aquático, e o P-orto por ser a principal forma de fosfato assimilada por vegetais, microalgas e bactérias aquáticas (ESTEVEES; PANOSSO, 2011).

O fosfato pode vir de fontes naturais e também artificiais, sendo as fontes da bacia de drenagem as naturais e constituintes da fonte básica de fosfato para os ecossistemas aquáticos continentais, assim o fósforo de origem natural depende do conteúdo de fosfato presente nos minerais primários da bacia de drenagem. A apatita é o mais importante com 95% de todo o fósforo da crosta terrestre, o fosfato é liberado a partir da forma cristalina das rochas quando desagregadas pelo intemperismo e carregado pelas águas superficiais alcança os diferentes ecossistemas aquáticos (ESTEVEES; PANOSSO, 2011).

O acréscimo de fósforo ao ambiente aquático pode incluir outras formas naturais como precipitação atmosférica e deposição de material particulado como, partículas de solo e rochas, organismos vivos e em decomposição, compostos voláteis liberados por plantas e queimadas naturais (ESTEVEES; PANOSSO, 2011).

As fontes artificiais de fosfato são advindas de esgotos domésticos e industriais e material particulado de origem industrial contido na atmosfera, além de fertilizantes e agrotóxicos oriundos da agricultura (ESTEVEES; PANOSSO, 2011).

1.10 Assimilação de nutrientes por organismos autotróficos e heterotróficos em ambientes aquáticos

Para organismos autotróficos a fixação ocorre principalmente em ecossistemas rasos e de águas claras, pois a presença de luz é o fator primordial para que ela ocorra (FENANDES; ESTEVES, 2011). O nitrogênio assimilado pelas algas perifíticas é utilizado para a síntese de aminoácidos, nucleotídeos, clorofila e ficobilinas (FELISBERTO; MURAKAMI, 2013).

A ciclagem de nutrientes implica a passagem de nutrientes entre os diferentes componentes de uma célula, comunidade ou ecossistema para serem reciclados e reaproveitados por alguns desses componentes, desta forma, a perda de nutrientes pelos produtores primários deverão ser restabelecidas por entradas de nutrientes para que o sustento, crescimento e produção primária líquida se mantenham

(FELISBERTO; MURAKAMI 2013).

O fósforo assimilado pelas algas perifíticas é fundamental ao armazenamento e transferência de energia dentro dos organismos (molécula de ATP), além da estruturação da membrana celular por conta dos fosfolipídios e composição dos ácidos nucleicos, DNA e RNA (FELISBERTO; MURAKAMI, 2013).

As algas absorvem preferencialmente o ortofosfato (P-orto), porém foi reconhecido que elas absorvem outras frações de fosfato, entretanto, populações de *Clorella* absorvem polifosfatos quando cultivadas em laboratório sendo as microalgas capazes de assimilar formas orgânicas de fósforo (ESTEVES; PANOSSO, 2011).

Os microorganismos inclusive microalgas competem entre si por fosfato, esses microorganismos possuem a capacidade de assimilar o nutriente além de sua necessidade momentânea, fenômeno conhecido como, “consumo luxuriante”, permitindo o crescimento e manutenção da população microbiana, mesmo com escassez de fósforo (ESTEVES; PANOSSO, 2011).

Microalgas, ainda, consomem o fosfato utilizado para o metabolismo celular e excretam fosfato inorgânico principalmente quando o fosfato é abundante no meio (ESTEVES; PANOSSO, 2011).

Fisiologicamente a incorporação de nutrientes na forma inorgânica por células algais ocorre de modo diferente da incorporação de formas orgânicas, em função da capacidade de adaptação das espécies e também da influencia de outros fatores como temperatura, luz, pH e alcalinidade (FELISBERTO; MURAKAMI, 2013), além do fósforo (P) e nitrogênio (N) serem os nutrientes mais estudados e considerados como limitantes para as algas (RODRIGUES, et al., 2013).

Organismos heterotróficos (cladóceros, copépodes, protozoários, testáceos ou tecamebas, flagelados, ciliados, rotíferos entre outros), são abundantes no perifíton e componentes importantes da biodiversidade dos ambientes aquáticos. Rotíferos podem ser funcionalmente importantes para a comunidade perifítica, transferindo energia aos níveis superiores na cadeia trófica e protozoários testáceos unidos aos ciliados são importantes consumidores de bactéria, flagelados e algas e participam da decomposição de matéria orgânica e ciclagem dos nutrientes (BONECKER; FULONE, 2013).

As bactérias heterotróficas representam um importante grupo de organismos fixadores de nitrogênio, principalmente no sedimento e no perifíton heterotrófico,

sendo as mais comuns pertencentes aos gêneros *Clostridium* e *Azobacter* contribuindo para a fixação global de nitrogênio de ecossistemas aquáticos, o número de bactérias aumenta com o estado trófico do sistema, mas não significa que a maior densidade destas espécies cause maiores taxas metabólicas, diversos fatores regulam a atividade, dentre eles se destacam a qualidade da matéria orgânica no sedimento, como fonte de energia ou como fator indireto na disponibilidade de oxigênio. Entretanto no sedimento o principal fator regulador deve ser à disponibilidade do íon amônio (ESTEVEES; AMADO, 2011).

MATERIAL E MÉTODOS

1.11 Caracterização da área de estudo

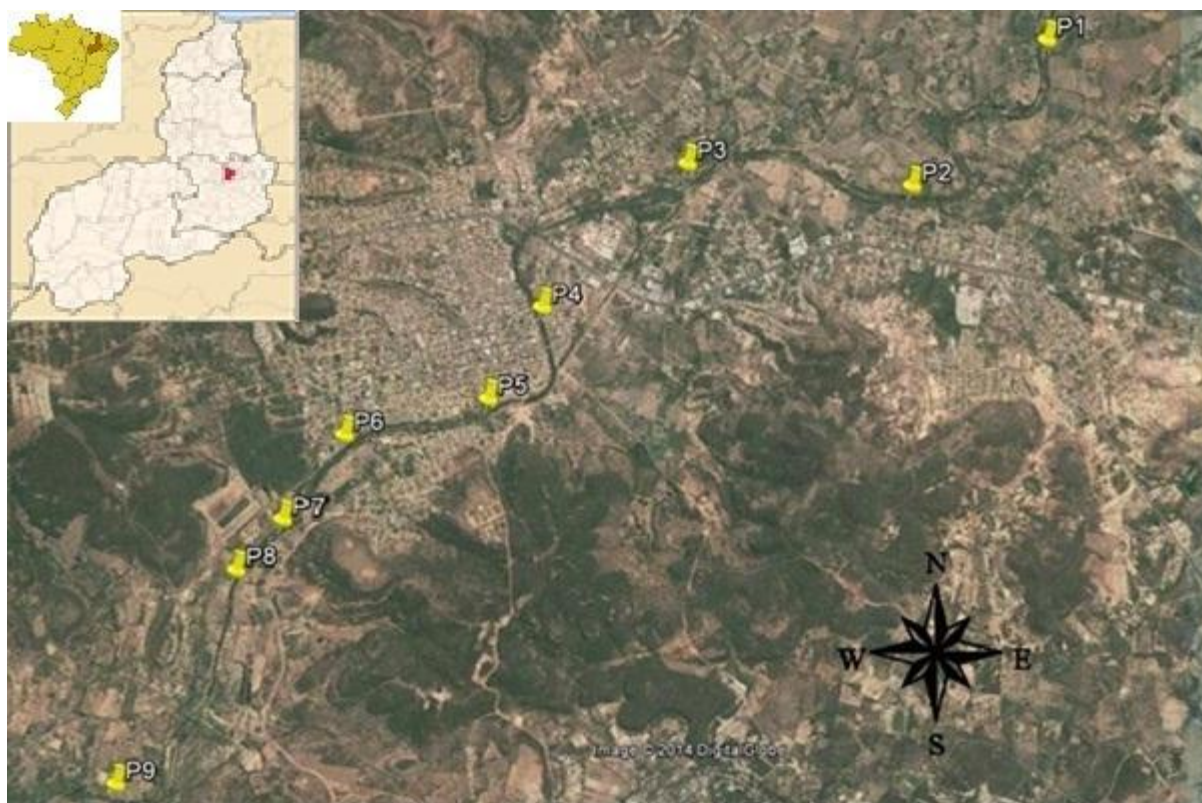
O município de Picos, no bioma Caatinga, está localizado na mesorregião sudeste Piauiense, com uma área total de 68.974 km², situando-se a 306 Km² de distância da capital, tendo como rodovia de acesso a BR-316, com limites: Ao Norte: Municípios de Dom Expedito Lopes, Santana do Piauí; ao Sul: Município de Itainópolis; ao leste: Município de Geminiano; ao Oeste: Município de Paquetá. Conhecida como Cidade Modelo e Capital do Mel, com uma população estimada em 73.417 habitantes. (IBGE, 2010).

Picos está a 206 metros acima do nível do mar e apresenta em seu relevo inúmeros picos argilosos, que se erguem nas proximidades ribeirinhas, e as serras rochosas que dão a impressão de que a cidade está localizada numa cratera, fazendo surgir os denominados baixões agrícolas piauienses. O Rio Guaribas corta a cidade em sentido contrário dos demais rios piauienses que cortam seu relevo no sentido sul-norte ou sudeste-noroeste, ele faz o sentido oposto, ou seja, norte-sul, até suas águas encontrarem o rio Itaim, Riacho Vermelho, Riacho dos Macacos, Além de possuir o maior lençol freático na região. (IBGE, 2010).

1.12 Coletas

A coleta foi realizada no dia 14 de janeiro no Rio Guaribas no perímetro urbano. O trecho foi dividido em três setores, arbitrariamente denominados de zona pré-urbana, zona urbana e zona pós-urbana. O setor zona urbana é caracterizado por apresentar uma alta densidade de residências ao redor do leito do rio, enquanto que as demais zonas as residências são mais espaçadas, chegando à maioria das vezes a ultrapassar 500 m de distância entre uma residência e outra.

Figura 1 - Trecho do rio Guaribas no perímetro urbano de Picos. O mapa mostra os três setores onde as coletas foram realizadas: pré-zona urbana (P1, P2, P3), zona urbana (P4, P5, P6) e zona pós-urbana (P7, P8, P9).



Fonte: Adaptado do Google Earth 7.1.2.2041 (2013)

Foram realizadas nove coletas, distribuídas em três pontos de cada setor. Foram coletadas amostras de água e pecíolos da vegetação. Os pecíolos foram acondicionados em câmara guardada em isopor térmico contendo gelo para serem levados ao laboratório para determinação de dados, peso seco, peso seco livre de cinzas, e clorofila *a*.

A coleta dos dados limnológicos abióticos da água circundante do ambiente, foi realizada no local e anotada na ficha de campo, sendo as seguintes variáveis abióticas determinadas: coordenadas com (GPS), transparência da coluna de água e profundidade do local com o uso do (disco de Secchi), temperatura da água, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido com uso do (oxímetro).

1.13 Análise laboratorial

Para análise do peso seco livre de cinzas - PSLC, os pecíolos foram cuidadosamente raspados em placa de Petri com o auxílio de lâmina de bisturi envolta por papel alumínio para evitar danificar o tecido do vegetal, sendo realizada ainda a mensuração da área do pecíolo para o PSLC. Em seguida o conteúdo raspado foi filtrado em filtros de fibra de vidro previamente calcinados e pesados. Os filtros com o conteúdo raspado foi seco em estufa a 65°C por 72 horas, acondicionados no dessacador e pesados em seguida. Logo após foram colocados em mufla a 550° C por duas horas, sendo pesados novamente, segundo Schwarzbald (2013).

Para determinação da clorofila *a*, foi realizado o mesmo processo de raspagem e mensuração. Em seguida os filtros foram macerados na penumbra com acetona 90% e centrifugados a 3.000 RPM durante 10 minutos. Logo após o sobrenadante de cada amostra foi lido em espectrofotômetro a 750 e 663 nm, acidificados e refeita a leitura nos mesmos comprimentos de onda (SCHWARZBOLD, 2013).

Para obtenção de dados dos nutrientes, foram utilizados o método do fenato para amônia e do ácido ascórbico para fosfato e fósforo total, de acordo com o *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (1998).

1.14 Análise estatística dos dados

Para determinação do índice autotrófico - IA, foi calculado o coeficiente entre o PSLC e clorofila *a*.

Uma matriz de correlação foi gerada para determinar quais variáveis estão correlacionadas entre si e uma análise de regressão múltipla foi utilizada para determinar o quanto cada variável biótica pode ser determinada pelos valores das variáveis abióticas.

Para determinar quão significativamente um setor difere do outro, uma ANOVA de um fator foi utilizada, sendo aplicado o teste de significância de Tukey para determinar em qual variável os setores diferem entre si. Os dados foram analisados no programa STATISTICA 8.0.

RESULTADOS

Os setores estudados apresentaram as seguintes características para as variáveis físicas e químicas mensuradas *in situ* (Tabela 1):

Tabela 1 - Valores para as características físicas e químicas do rio Guaribas.

| Setores | Pontos | Coordenadas | pH | Temp. °C | O ₂ ppm | O ₂ % | Cond. µS | TDS Ppm | Secchi Cm |
|-----------------|--------|-----------------------------|------------|-------------|--------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|
| Zona pré-urbana | P1 | S07°03'864" W41°25'788" | 7,5 | 27,2 | 4,38 | 57,7 | 261 | 126 | 72 |
| | P2 | S07°04'482" W41°26'353" | 7,4 | 27,3 | 3,03 | 38,2 | 153 | 127 | 66 |
| | P3 | S07°04'4821" W41°27'280" | 7,5 | 27,8 | 4,17 | 53,2 | 257 | 128 | 52 |
| Média | | | 7,4 | 27,4 | 3,86 | 49,7 | 223,6 | 127 | 63,3 |
| Zona urbana | P4 | S07°04'964" W41°27'879" | 7,3 | 27,6 | 2 | 23,4 | 290 | 145 | 21 |
| | P5 | S07°05'313" W41°28'007" | 7,2 | 28,2 | 2,2 | 28,4 | 328 | 163 | 51 |
| | P6 | S07°05'487" W41°28'678" | 7,3 | 28,5 | 2,23 | 25,0 | 355 | 177 | 30 |
| Média | | | 7,2 | 28,1 | 2,143 | 26,6 | 324,3 | 161,6 | 34 |
| Zona pós-urbana | P7 | S07°05'85" W41°28'965" | 7,4 | 28,5 | 2,09 | 26,7 | 356 | 178 | 23 |
| | P8 | S07°06'903" W41°29'114" | 7,5 | 28,9 | 2,52 | 32,3 | 406 | 203 | 17 |
| | P9 | S07°06'903" W41°29'693" | 7,6 | 30,0 | 3,82 | 51,5 | 389 | 194 | 22 |
| Média | | | 7,5 | 29,1 | 2,83 | 36,8 | 383,6 | 191,6 | 20,6 |

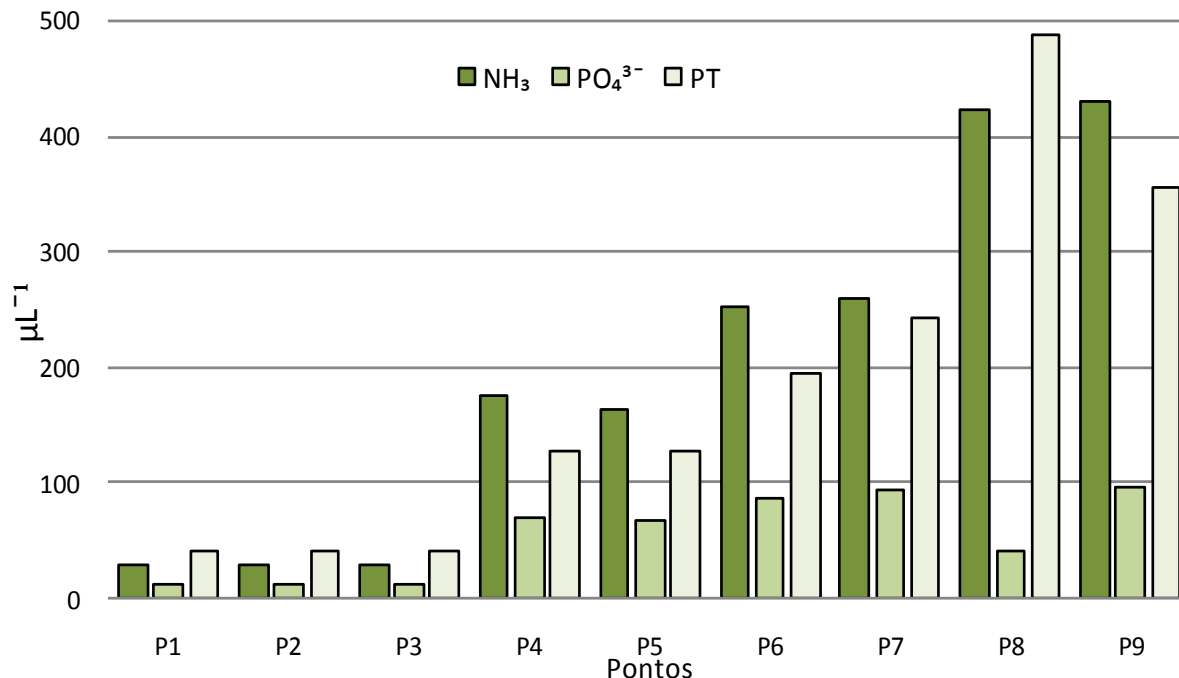
Considerando o sentido montante jusante do rio Guaribas, as variáveis bióticas e abióticas analisadas em laboratório apresentaram tendências diferentes em relação a suas concentrações ao longo do seu curso (Tabela 2).

A análise das variáveis abióticas NH₃, PO₄³⁻ e PT indicou, em geral, o aumento de suas concentrações no sentido montante a jusante do rio Guaribas (Gráfico 1). O ponto 8, em relação a seu setor, apresentou uma relação inversa de cerca de 50% referente as concentrações de PO₄³⁻ e PT, com redução do fosfato quando comparado ao ponto anterior (de 92 para 40 µL⁻¹) e aumento do fósforo total na mesma proporção (de 242 para 488 µL⁻¹), com a tendência das concentrações retornando no ponto 9.

Tabela 2 - Valores para as variáveis amônia, fosfato, fósforo total, peso seco (PS), peso seco livre de cinzas (PSLC), clorofila a e índice autotrófico (IA) de nove pontos amostrados no rio Guaribas e médias das concentrações para os três setores estudados.

| Setores | PONTO S | NH ₃ μ/L | PO ₄ ³⁻ μ/L | PT μ/L | PS mg·cm ² | PSLC mg/cm ² | Cl a mg/m ² | IA |
|-----------------|---------|---------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------|
| Pré-zona urbana | P1 | <28 | <13 | <40 | 0.2 | 0.1 | 1.6 | 75 |
| | P2 | <28 | <13 | <40 | 0.3 | 0.2 | 3.9 | 46 |
| | P3 | <28 | <13 | <40 | 0.3 | 0.2 | 2.0 | 115 |
| Média | | <28 | <13 | <40 | 0.3 | 0.2 | 2.5 | 78 |
| Zona urbana | P4 | 175 | 70 | 127 | 1.0 | 0.3 | 1.6 | 188 |
| | P5 | 164 | 68 | 126 | 0.5 | 0.2 | 1.0 | 237 |
| | P6 | 252 | 87 | 195 | 1.7 | 0.2 | 1.0 | 199 |
| Média | | 197 | 75 | 149 | 1.1 | 0.2 | 1.2 | 208 |
| Pós-zona urbana | P7 | 260 | 92 | 242 | 3.3 | 0.4 | 2.0 | 184 |
| | P8 | 422 | 40 | 488 | 1.1 | 0.6 | 3.7 | 165 |
| | P9 | 429 | 95 | 354 | 0.1 | 0.1 | 3.0 | 20 |
| Média | | 370 | 76 | 361 | 1.5 | 0.3 | 2.9 | 123 |

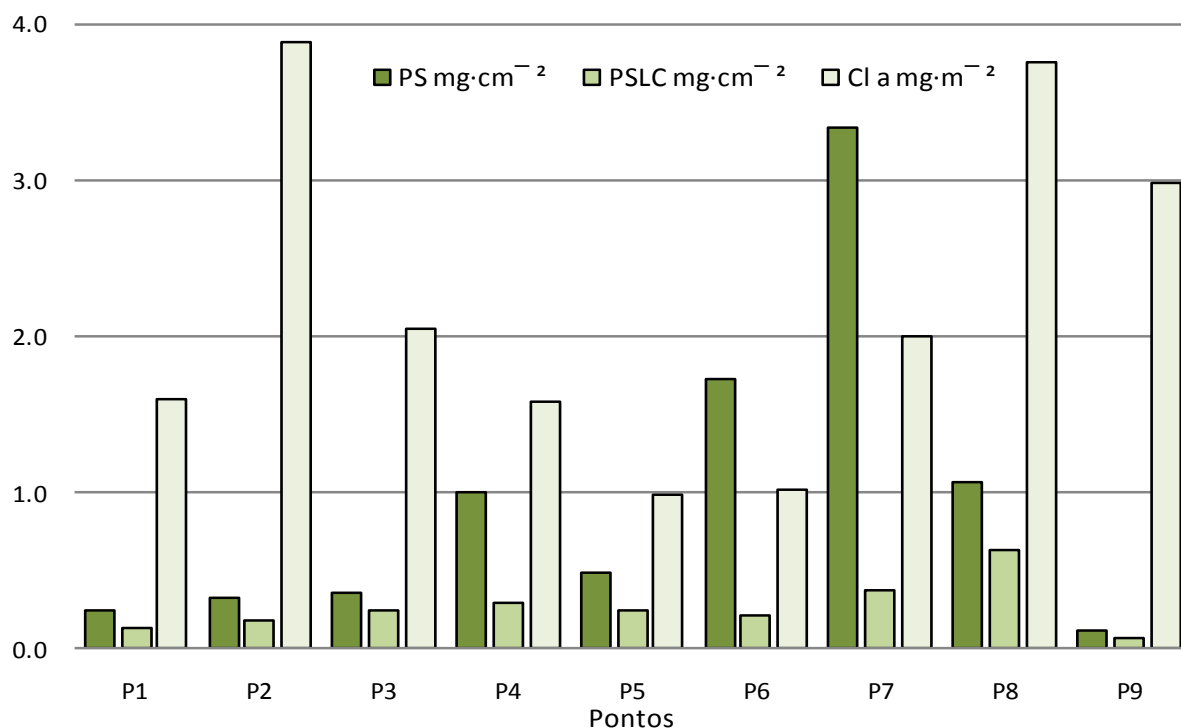
Gráfico 1 - Concentrações em μL⁻¹ de NH₃, PO₄³⁻ e PT nos nove pontos amostrados no rio Guaribas.



Diferentemente das variáveis abióticas, as variáveis bióticas peso seco (PS), peso seco livre de cinzas (PSLC) e clorofila a não apresentaram a mesma tendência de aumento ao longo do percurso do rio (Gráfico 2). O PS demonstrou uma tendência ascendente até o ponto 7, onde apresentou sua maior concentração (3,3 mg·cm⁻²), seguido de uma queda brusca em sua concentração nos dois últimos

pontos. O PSLC manteve-se praticamente estável ao longo do percurso, com um leve aumento do setor pré-zona urbana à pós-zona urbana, sendo sua maior concentração registrada no ponto 8 (0,6 mg·cm⁻²).

Gráfico 2 - Concentrações em mg cm⁻² do peso seco (PS), peso seco livre de cinzas (PSLC) e clorofila a do perifiton amostrado nos nove pontos do rio Guaribas.



A variável clorofila *a* apresentou uma baixa concentração no setor zona urbana (média 1,2 mg·m⁻²), quando comparado com os setores zona pré-urbana (média 2,5 mg·m⁻²) e zona pós-urbana (média 2,9 mg·m⁻²).

Não obstante, a relação entre PSLC e clorofila *a*, o índice autotrófico (IA) apresentou os valores mais altos para o setor urbano (IA médio = 208) em comparação com os outros setores (Tabela 2).

Uma matriz de correlação foi gerada visando verificar o grau de correlação entre as variáveis estudadas.

O valor crítico para o coeficiente de correlação de Pearson ($r = 0,666$, $\alpha = 0,05$) indica uma correlação linear apenas entre as variáveis NH₃ e as variáveis PO₄⁻³ ($r = 0,684$) e PT ($r = 0,960$), não havendo correlação significativa entre as demais variáveis.

Tabela 3 - Matriz das variáveis bióticas e abióticas para um valor crítico de $r = 0,666$ ($\alpha = 0,05$) do coeficiente de correlação de Pearson.

| | NH ₃ μ/L | PO ₄ ³⁻ μ/L | PT μ/L | PS mg/cm^2 | PSLC mg/cm^2 | Cl a mg/m^2 | IA |
|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------|--------------|----------------|---------------|--------|
| NH ₃ μ/L | 1.000 | 0.684 | 0.960 | 0.284 | 0.388 | 0.253 | 0.113 |
| PO ₄ ³⁻ μ/L | 0.684 | 1.000 | 0.482 | 0.536 | -0.019 | -0.332 | 0.378 |
| PT μ/L | 0.960 | 0.482 | 1.000 | 0.268 | 0.570 | 0.405 | 0.091 |
| PS mg/cm^2 | 0.284 | 0.536 | 0.268 | 1.000 | 0.444 | -0.210 | 0.530 |
| PSLC mg/cm^2 | 0.388 | -0.019 | 0.570 | 0.444 | 1.000 | 0.285 | 0.514 |
| Cl a mg/m^2 | 0.253 | -0.332 | 0.405 | -0.210 | 0.285 | 1.000 | -0.602 |
| IA | 0.113 | 0.378 | 0.091 | 0.530 | 0.514 | -0.602 | 1.000 |

Para o modelo de regressão múltipla, o critério dos fatores de inflação de variância (VIF) menor que 10 indicou multicolinearidade entre as variáveis independentes, sendo a NH₃ retirada da estimativa do modelo por apresentar o maior VIF (71,263). Quando consideradas apenas as variáveis PO₄³⁻ e PT, não detectou-se multicolinearidade (VIF = 1,302), contudo o modelo de regressão não mostrou-se significativamente adequado para explicar a variação das variáveis biomassa PS ($p < 0,361$), PSLC ($p < 0,178$), clorofila a ($p < 0,106$) e IA ($p < 0,607$).

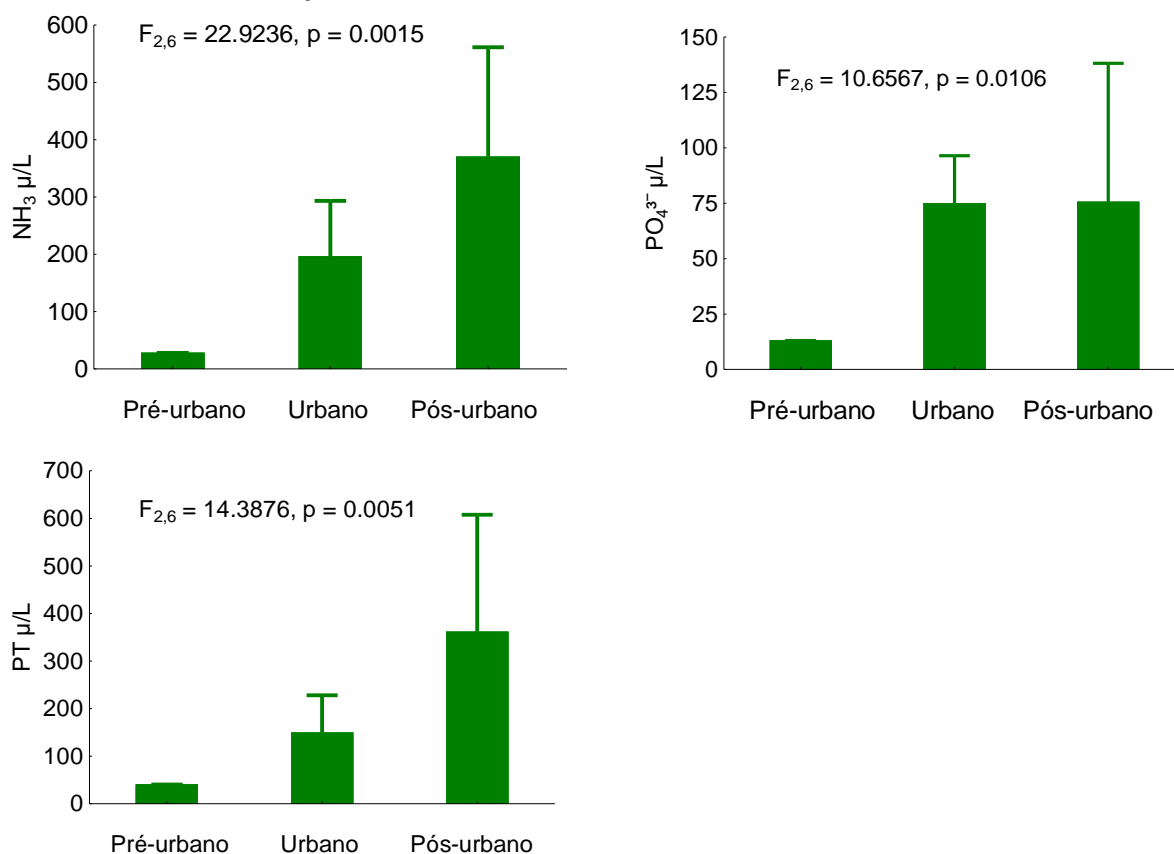
Para comparar os setores do rio Guaribas quanto às concentrações e valores das variáveis bióticas e abióticas, foi realizada uma análise de variância de um fator (*one-way* ANOVA). A análise não indicou diferença significativa entre os setores pré-zona urbana, zona urbana e pós-zona zona urbana quando comparadas as variáveis bióticas e abióticas em conjunto ($F = 6,550$, $p = 0,140$). Entretanto, quando comparados em relação a cada conjunto de variáveis bióticas e abióticas, os setores apresentaram diferença significativa apenas em relação a variáveis abióticas ($F = 9,493$, $p = 0,003$).

Levando-se em conta a evidência da rejeição da afirmativa de médias iguais entre os setores em relação às variáveis abióticas, foi realizada uma comparação *a posteriori* por meio do teste de diferença realmente significante de Tukey (DHS Tukey) das médias dos três setores, visando identificar especificamente quais médias são realmente diferentes (GOTELLI; ELLISON, 2011; TRIOLA, 2013).

O teste de Tukey indicou diferenças significantes na maioria dos pontos,

excetuando-se os setores zona urbana e zona pós-urbana para o fosfato ($p = 0,999$) e os setores pré-zona urbana e zona urbana para o PT ($p = 0,251$). O diagrama de barras no Gráfico 3 compara a média das concentrações das variáveis abióticas em cada setor.

Gráfico 3 - Média das concentrações de amônia, fosfato e fósforo total em três setores do rio Guaribas (pré-zona urbana, zona urbana e pós-zona urbana). A altura das barras indica o valor de duas vezes o desvio padrão entorno da média.



DISCUSSÃO

A análise da flutuação das concentrações da amônia, fosfato e PT não corroborou com a hipótese da redução dessas concentrações do setor urbano para o pós-urbano, acarretada pela depuração dos efluentes e reduzido aporte dos mesmos no último setor, (Gráfico 1). Uma possível explicação para a tendência de aumento das concentrações ao longo das margens do rio no perímetro urbano é a criação de animais ao longo do rio, tais como suínos e bovinos. As criações foram observadas em campo principalmente nos setores zona pré-urbana e zona pós-urbana.

A degradação pelos animais de compostos heterocíclicos, como ácidos nucleicos, gera a ureia que é excretada na urina. O sedimento é o principal sítio de amonificação e hidrólise da ureia no meio aquático, sendo a excreção direta por animais é quantitativamente insignificante como fonte de amônia em sistemas naturais. Em sistemas entre pH neutro e ácido a amônia é instável, sendo convertida por hidratação a íons amônio (NH_4^+), já em meio ácido parte dela é perdida para a atmosfera por difusão. A concentração de amônia em limnologia refere-se principalmente às duas formas de nitrogênio amoniacal: amônia e íon amônio (ESTEVEZ; AMADO, 2011).

Dessa forma, teve como hipótese que concentrações mais altas de amônia no setor zona pós-urbana pode ser explicada pelo acúmulo de efluentes advindos principalmente do setor urbano mais a contribuição da excreção animal.

Assim como a amônia, a flutuação do fósforo também não corroborou com a hipótese de pesquisa de sua redução do setor urbano para o setor pós-urbano (Gráfico 1). Em relação à forma dissolvida, a média das concentrações para os dois últimos setores permaneceu praticamente estável, enquanto que para as formas totais houve um aumento de mais de 100% do penúltimo para o último setor (Tabela 2).

Rochas são as principais fontes de fosfato para o ambiente natural, seguidos de formas pontuais como esgotos domésticos e industriais. Considerado um dos principais fatores limitantes da produção primária, sua concentração geralmente é baixa em ambientes altamente produtivos (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003).

Nossa pesquisa não demonstrou ser significativa a correlação entre as formas de fósforo (fosfato e PT) e a biomassa perifítica. Entretanto observou-se uma

flutuação inversa no ponto 8 do setor pós-zona urbana para as concentrações de fosfato e PT. Nesse ponto ocorreu a redução do fosfato seguida do retorno a tendência de seu aumento, enquanto que para o PT houve um incremento de 100% na concentração para esse ponto, seguida de redução no último ponto. A relação inversa das duas concentrações pode ser explicada porque a redução na concentração de fosfato se dá pela assimilação pelos produtores primários, o que reflete em uma maior concentração do fósforo particulado orgânico (ESTEVEZ; PANOSSO, 2011).

Não houve correlação entre as duas formas de fosfato ($r = 0,482$, $p = 0,189$) (Gráfico 4), entretanto quando excluída a relação inversa do ponto 8 observa-se que a correlação torna-se significativa ($r = 0,892$, $p = 0,003$) (Gráfico 5) e, nesse caso, as duas variáveis estão correlacionadas.

Gráfico 4 - Variáveis fosfato e PT para um valor crítico do coeficiente de correlação de Pearson de 0,666 e $\alpha = 0,05$.

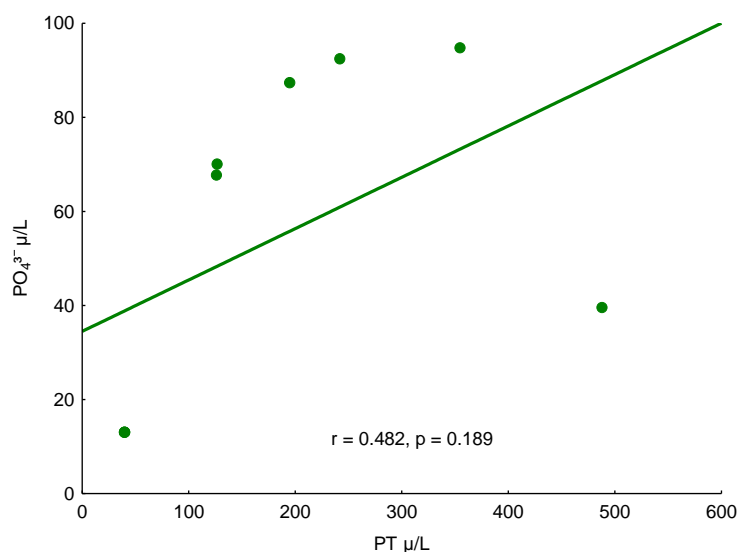
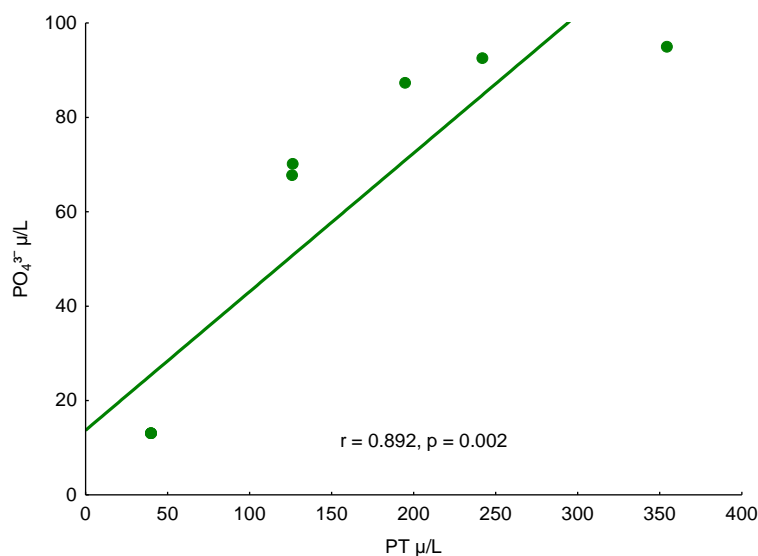


Gráfico 5 - Variáveis fosfato e PT para um valor crítico do coeficiente de correlação de Pearson de 0,707 e $\alpha = 0,05$.



Tomando-se por base a concentração de PT, constata-se que os setores zona urbana e pós-zona urbana apresentam características de corpos d'água eutrofizados, com concentrações médias, respectivamente, 149 e 361 μL^{-1} (WETZEL, 2001 apud (ESTEVES; PANOSSO, 2011)).

A amostragem do perifíton foi realizada em salsa-da-práia (*Ipomoea* sp.) e em duas macrófitas aquáticas: aguapé (*Eichhornia* sp.) e gramínea. A alta densidade de aguapé no setor urbano pode ter interferido na produtividade do perifíton, tendo a luz como fator limitante (FELISBERTO; MURAKAMI, 2013).

Vale ressaltar que o setor urbano foi o que apresentou o menor valor médio para a concentração de clorofila (Tabela 2), fato que refletiu na natureza trófica do perifíton, determinada pelo IA. A média dos IA 78 e 123, respectivamente para os setores pré e pós-urbano, indicam que essas regiões são predominantemente autotróficas, enquanto que o setor urbano é predominantemente heterotrófico, com IA médio igual a 208 (FERRAGUT; BICUDO; VERCELLINO, 2013).

A hipótese de pesquisa para a diferença entre os três setores em relação às variáveis bióticas e abióticas também não foi corroborada por nossas análises. Quando considerando-se apenas as variáveis bióticas PS, PSLC e clorofila *a*, os setores não diferiram significativamente ($F = 6,550$, $p = 0,140$). Já para as variáveis abióticas amônia, fosfato e PT ocorreram diferenças significativas entre os setores ($F = 9,493$, $p = 0,003$).

A falta de significância entre as diferenças dos setores em relação às variáveis bióticas deve-se, provavelmente, às diferentes fatores entre os três setores, que não às variáveis abióticas.

Os valores para PS, PSLC, clorofila *a* e IA registrados para o setor pré-urbano podem estar respondendo às concentrações dos nutrientes amônia, fosfato e PT, em conjunto com transparência da água e a velocidade da correnteza.

Os valores não significativamente diferentes para as variáveis bióticas no setor zona urbana pode ter sido influenciado pelo fator baixa luminosidade devido à alta densidade de macrófitas e pela vegetação marginal além de águas mais turvas. Isso pode ter refletido nos baixos valores para clorofila *a* nesse setor apesar do aumento significativo das concentrações dos nutrientes. Além disso, ao contrário das algas, a alta densidade de macrófitas propicia um ambiente favorável para os organismos heterotróficos, refletindo-se em valores de PSLC maiores nesse setor, porém não significativos, em relação ao pré-urbano, bem como no IA acima de 200.

Em relação ao setor pós-zona urbana, antes dos pontos de coleta 8 e 9 havia um barramento por ponte em cada, acarretando uma maior velocidade na correnteza e provável redução na biomassa perifítica por carreamento, como refletido nos baixos valores do PS ($PS_{P8} = 1,1$; $PS_{P9} = 0,1$) quando comparados com o ponto 7 ($PS_{P7} = 3,3$).

O setor zona urbana demonstrou visualmente estar bastante impactado pela ação antrópica, com uma grande quantidade lixo doméstico. Em tais pontos os valores da clorofila *a* foram os mais baixos, demonstrando haver uma ligação entre essa variável e o grau de antropização do rio.

Quanto às diferenças em relação aos nutrientes, a falta de significância entre os setores zona urbana e pós-zona urbana para o fosfato ($p = 0,999$) e os setores pré-zona urbana e zona urbana para o PT ($p = 0,251$) podem estar relacionados aos fatores já discutidos em relação ao PS, PSLC e clorofila *a*, já que as concentrações para fosfato e PT são influenciadas pelo grau de absorção dos microorganismos.

Contudo, ressaltamos que mais pesquisas precisam ser realizadas para confirmação dessas hipóteses *a posteriori* referentes às diferenças entre os setores, tanto no que concerne a outros nutrientes da água como nitrato, nitrito e nitrogênio total, bem como os grupos funcionais dos organismos e o grau de antropização do rio.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pelas análises da água e da biomassa perifítica nos três setores do rio Guaribas no perímetro urbano de Picos, concluímos que:

a) Não há uma flutuação descendente das concentrações de nutrientes do setor urbano para o pós-urbano acarretado pela depuração;

b) As formas de fósforo (fosfato e PT) não estão correlacionadas com os índices de biomassa perifítica PSLC, clorofila *a* e índice autotrófico;

c) As duas formas de fósforo estudadas não apresentaram correlação ao longo do trecho estudo do rio;

d) Há uma aparente relação inversa apenas no ponto 8 entre as concentrações de fosfato e PT;

e) Os setores zona urbana e zona pós-urbana são altamente eutrofizados considerando-se a análise dos nutrientes estudados;

f) O perifíton para os setores pré e zona pós-urbana é predominantemente autotrófico, tendo o setor zona urbana uma predominância heterotrófica;

g) A concentração de clorofila nos setores estudados não pode ser explicada apenas pelas concentrações das variáveis abióticas analisadas;

h) Os três setores não são significativamente diferentes em relação às variáveis bióticas, contudo apresentam diferenças em relação às variáveis abióticas em conjunto.

O bioma caatinga apresenta suas particularidades, já conhecidas, quanto a sua fauna e vegetação se comparadas com outros biomas. Estudos voltados para a comunidade perifítica nesse bioma tornam-se relevantes à medida que vêm a contribuir para o entendimento do comportamento dessa comunidade, visando

propiciar e alavancar suas potencialidade para a região, tanto voltado para o setor econômico, ambiental e principalmente para o avanço da ciência. Desta forma, espera-se que esse estudo seja um marco inicial para futuros estudos com essa comunidade no Estado, sobretudo na Macro Região de Picos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZIM, M. E. *et al.* Periphyton and aquatic production: an introduction. In: AZIM, M. E. **Periphyton: ecology, exploitation and management**. CABI Publishing: London, 2005, p. 1-14.

BURLIGA, A. L.; SHWARZBOLD, A. Perifíton: Diversidade Taxonômica e Morfológica. In: SHWARZBOLD, Albano; BURLIGA, Ana Luiza (org.). **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa, 2013. p. 1-6.

COSTA, A. G; MACHADO, R. G; FERNANDES, V. O. **Estrutura e dinâmica temporal da comunidade de algas perifíticas em substrato artificial na lagoa maimbá, guarapari-es**. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 2007, Caxambu. Anais... Caxambú : SEB, 2007.

COSTA, B. C.; FULONE, L. J. Perifíton heterotrófico. In: SHWARZBOLD, Albano; BURLIGA, Ana Luiza (org.). **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa, 2013. p. 87-102.

COSTA, T. L. *et al.* Colonização e Sucessão do Perifíton. In: SHWARZBOLD, Albano; BURLIGA, Ana Luiza (org.). **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa, 2013. p. 45-58.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

ESTEVES, F. A.; AMADO, A. M. Nitrogênio. In: ESTEVES, Francisco de Assis (Org.). **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p 239-258.

ESTEVES, F. A.; FERNANDES, V. O. Comunidade Perifítica. In: ESTEVES, Francisco de Assis (Org.). **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p 447.

ESTEVES, F. A.; PANOSSO, R. Fósforo. In: ESTEVES, Francisco de Assis (Org.). **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p 259-281.

FELISBERTO, S. A.; MURAKAMI, E. A. Papel do Perifíton na Ciclagem de Nutrientes e na Teia Trófica. In: SHWARZBOLD, Albano; BURLIGA, Ana Luiza (org.). **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa, 2013. p. 23-44.

FERRAGUT, C.; BICUDO, D. C. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, 32: p. 571-585, 2009.

FERRAGUT, C.; BICUDO, D. C.; VERCELLINO, S. I. Amostragem e Medidas de Estrutura da Comunidade Perifítica. **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa, 2013. p. 157-177.

LOWE, R. L.; PAN, Y. **Benthic algal communities as biological monitors**. In: Stevenson, R. J.; Bothwell, M. L. & Lowe, R. L. (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. San Diego: Academic Press, p. 705-739, 1996.

MARTIN, F. C. O.; FERNANDES, V. O. Departamento de Ciências Biológicas-Setor Botânica. Av. Marechal Campos, 1468-cep:29060-900, Maruípe, Vitória, Espírito Santos-Brasil. **Braz. J. Aquatic. Sci. Technol.**, 2011, 15 (1)-11-18. Aceito para publicação.

MORESCO, C.; RODRIGUES, L. O Perifíton como Bioindicador em Rios. In: SHWARZBOLD, Albano; BURLIGA, Ana Luiza (org.). **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa, 2013. p. 147-156.

OLIVEIRA, M. A. Comunidade de Bactérias Perifíticas em Águas Continentais. In: SHWARZBOLD, Albano; BURLIGA, Ana Luiza (org.). **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa, 2013. p. 59-86.

RODRIGUES, L. *et al.* Perifíticas na planície de inundação do alto Paraná.

SANCHES, L. F. *et al.* Efeitos do Enriquecimento Nutricional na Biomassa Autotrófica Perifítica: uma abordagem experimental em uma lagoa costeira húmica. In: VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 23 a 28, 2007, Caxambú-MG. **Anais...** Caxambú-MG: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2007. p. 2.

SCHNECK, F. Tendências e lacunas dos estudos sobre Perifíton de ambientes Aquáticos Continentais no Brasil: Análise Cienciométrica. In: SHWARZBOLD, Albano; BURLIGA, Ana Luiza (org.). **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa, 2013. p. 7-22.

TORGAN, L. C. *et al.* Colonização e Sucessão do Perifíton. In: SHWARZBOLD, Albano; BURLIGA, Ana Luiza (org.). **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa, 2013. p. 45-58.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
WATANABE, T. Perifíton: comparação de metodologias empregadas para caracterizar o nível de poluição da água. **ActaLimnol. Brasil.**, v.3, p.593 – 615, 1990.

WETZEL, R. G. Opening remarks. In: Wetzel, R.G. (Ed.). **Periphytonoffreshwater ecosystems**. The Hague, Dr.W. Junk, 1983 a. p. 3-4. (Developments in Hydrobiology, 17).