

SUMÁRIO

| | | |
|---|-------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 4 |
| 2 | METODOLOGIA | 5 |
| 3 | RESULTADOS | 7 |
| 4 | REFERÊNCIAS | 10 |

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Boxplot do Índice de Integridade Biótica do Perifiton (IIBP) e suas métricas ao longo das campanhas e estações amostrais avaliadas. Para cada estação, foram incluídos os resultados das campanhas e, no caso dos rios, da comunidade perifítica das duas margens analisadas. 9

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média (e desvio padrão) da riqueza, densidade total, diversidade de Shannon, diversidade de Simpson, equabilidade, clorofila a e peso seco da comunidade perifítica nas estações amostrais do PMBA. 7

Tabela 2: Correlação de Pearson entre o IIBP e suas métricas com algumas variáveis ambientais selecionadas (de acordo com a disponibilidade de dados). IIBP: Índice de Integridade Biótica do Perifiton; CE: condutividade elétrica; P total: Fósforo total; Metais totais: cromo (Cr), cobre (Cu), manganês (Mn) e chumbo (Pb). São apresentadas apenas as correlações significativas ($p < 0,05$). 10

ANEXO 3 Dulcícola - Perifíton

1 INTRODUÇÃO

O perifíton é definido como uma complexa comunidade de microrganismos (algas, bactérias, fungos, protozoários, microcrustáceos), detritos orgânicos e inorgânicos aderidos ou associados a substratos naturais ou artificiais, vivos ou mortos (WETZEL, 1983). Uma vez que as comunidades perifíticas são compostas principalmente por algas (95 a 99% desta comunidade - FERNANDES, 1997; WETZEL, 1990; são importantes produtores primários em diversos ecossistemas aquáticos (representando até 85% da produção primária total), possuindo um reconhecido papel nos ciclos energéticos e de nutrientes, além de servirem de habitat e refúgio contra predadores para diversos organismos (BIGGS; KILROY, 2000; STEVENSON, 1996).

A importância do perifíton vai além do funcionamento dos ecossistemas aquáticos, podendo ser utilizado como uma importante ferramenta de monitoramento da qualidade das águas. A comunidade é amplamente utilizada como biomonitora de ambientes aquáticos dos Estados Unidos e países da União Europeia, sendo descrita nos protocolos de seus programas de monitoramento (BARBOUR et al., 1999; POIKANE et al., 2016). Dentre as características que fazem com que a comunidade seja boa bioindicadora da integridade ecológica dos ecossistemas aquáticos destacam-se (i) a capacidade de converter muitos compostos inorgânicos em orgânicos (produtividade primária); (ii) o modo de vida sésil, juntamente com o curto ciclo de vida, que fazem com que o perifíton responda rapidamente às alterações ocorridas na água sem o deslocamento dos organismos, que podem buscar por condições aquáticas mais adequadas à sua fisiologia, ou do transporte passivo pela correnteza; (iii) a riqueza de espécies, se comparado às outras comunidades aquáticas, constituindo um rico sistema de informações para o monitoramento ambiental (presença de diversas espécies tolerantes e sensíveis a diferentes tipos de agentes estressantes – e.g. nutrientes ou metais pesados). Neste ponto a comunidade perifítica se destaca de outras comunidades algais pela alta representatividade de diatomáceas, um grupo com elevada biodiversidade e bem estudado ecologicamente quanto à muitas espécies; (iv) a capacidade de acumular grandes quantidades de nutrientes e substâncias poluentes dissolvidos, integrando a qualidade da coluna d'água, e (v) por ser considerada um “ecossistema modelo”, já que é adequado para avaliar colonização, sucessão, diversidade e estabilidade de comunidades (LOWE & PAN, 1996). Além disso, por constituírem a base de diversas cadeias tróficas aquáticas, os demais níveis tróficos dependem de como a comunidade perifítica responde ao ambiente.

Um dos principais usos dentro do biomonitoramento é a avaliação do estado trófico dos corpos d'água (ALMEIDA & FERNANDES 2012, 2013). Contudo, o perifíton vem sendo utilizado com sucesso para a avaliação e monitoramento de alterações antrópicas causadas por mineração, desde alterações de pH, até a presença de metais, como o cádmio, chumbo, zinco e ferro (DENICOLA; LELLOCK, 2015; HILL et al., 2000; MCCAULEY; BOULDIN, 2016). Dentro deste contexto, a

comunidade perífítica é relevante no Programa de Monitoramento da Biota Aquática (PMBA) do Baixo Rio Doce, no Anexo 3 dulcícola, uma vez que resultará em indicadores da base das comunidades de outros níveis tróficos que respondem diretamente às mudanças abióticas. Além disso, a comunidade é altamente diversa em espécies e a negligência quanto a análise do grupo pode levar a sub-estimativas do número de espécies na Bacia do Baixo rio doce. O presente relatório tem como objetivo apresentar os resultados parciais do período de Transição, com as campanhas de Novembro/2019 a Fevereiro/2020.

2 METODOLOGIA

As campanhas do período de transição ocorreram entre novembro de 2019 e março 2020. Esta última campanha foi interrompida durante o seu andamento devido às paralisações das atividades causadas pela pandemia (pelo coronavírus) e as amostras coletadas não foram analisadas (devido ao decreto de isolamento social) e não entrarão neste relatório. Ainda, não ocorreram coletas na estação E24 (lagoa Areão) em nenhuma das campanhas, por falta de acesso ao local. Nos demais aspectos, a coleta, processamento das amostras e variáveis analisadas são os mesmos apresentados no relatório do Ano 1 (RRDM, 2019; RT 18I, Pág. 7-10).

Para o presente relatório foi incluído o cálculo do Índice de Integridade Biótica do Perifiton, conforme descrição abaixo. É possível a aplicação do índice aos dados já obtidos no primeiro ano de monitoramento; contudo, aqui serão apresentados apenas os resultados para o período de transição, uma vez que é necessário o levantamento da autoecologia de algumas das espécies registradas para o período. A análise comparativa mais completa será apresentada em relatórios futuros.

Com base nas análises quantitativas e na revisão de literatura sobre a ecologia das espécies, foi aplicado o Índice de Integridade Biótica do Perifiton (IIBP), descrito por Hill et al. (2000). O índice foi adaptado para os dados avaliados no projeto Perifiton e, por isso, não conta com uma das dez métricas, a atividade da enzima fosfatase. A adaptação do índice às variáveis disponíveis foi utilizada pelos próprios autores (ver Hill et al 2003), sem prejuízo para seu valor de indicação. Para a aplicação do IIBP, foram utilizadas as seguintes métricas (detalhes dos cálculos em Hill et al. 2000):

- *Riqueza relativa de táxons*: Espera-se que nos locais mais impactados haja redução do número de táxons, uma vez que apenas os táxons tolerantes são mantidos.
- *Métrica de diatomáceas*: O enriquecimento de nutrientes ou condições de alta toxicidade causam a mudança da dominância de diatomáceas na comunidade perífítica para a dominância de comunidades de algas não-diatomáceas. Espera-se diminuição na densidade relativa das diatomáceas, quanto mais impactado é o local.
- *Métrica de cianobactérias*: Espera-se que o percentual de cianobactérias aumente com os distúrbios ambientais, especialmente relacionados ao aumento de nutrientes e exposição à substâncias tóxicas.

- *Métrica de dominância:* Espera-se que a dominância, medida pelo Índice de Simpson, seja maior em ambientes impactados, uma vez que espécies tolerantes serão favorecidas nessas condições.
- *Métrica de diatomáceas acidobiontes:* maior representatividade de espécies acidobiontes de diatomáceas (aquelas que vivem preferencialmente em ambientes ácidos, $\text{pH} < 5,5$) é um indicativo de impactos que diminuem o pH dos ambientes, como rejeitos de mineração.
- *Métrica de diatomáceas eutróficas:* maior representatividade de diatomáceas desse grupo, que são tolerantes ou vivem preferencialmente em ambientes eutróficos, indica impacto relacionado ao aumento de nutrientes da água (e.g. lançamento de efluente orgânico).
- *Métrica de diatomáceas móveis:* As diatomáceas móveis no perifíton tem vantagem competitiva quando há maior quantidade de particulado na água, o qual é depositado no perifíton. Isso ocorre porque estas algas conseguem se deslocar entre as partículas, buscando melhores condições de luminosidade, o que não ocorre com as algas aderidas ao substrato. Assim, esse índice tem sido utilizado como marcador de assoreamento e espera-se que quanto maior for esse impacto, maior será a representatividade de espécies móveis. Esta métrica já foi utilizada no relatório primeiro ano do PMBA.
- *Métrica de clorofila:* O conteúdo de clorofila-a na comunidade perifítica pode ser utilizada para avaliar o enriquecimento dos ecossistemas aquáticos. Em altas concentrações de nutrientes, existe tendência de maior concentração de clorofila-a. Em ambientes pobres em nutrientes ou com baixa disponibilidade de luz (e.g. com alta turbidez), os teores de clorofila-a podem ser muito baixos. Assim, para a determinação dessa métrica, foi utilizada a mediana da concentração clorofila-a no perifíton registrada a partir de trabalhos já realizados em diferentes locais do Brasil (considerando a escassa literatura sobre o assunto para a Bacia do rio Doce). Ainda, considerando as características peculiares de ambientes lóticos e lênticos, foi determinada uma mediana de clorofila-a para cada um deles e utilizado o devido valor no cálculo da métrica, considerando a origem da amostra avaliada. Espera-se que quanto mais a concentração se afasta da mediana (tanto para maiores ou menores valores), maior o impacto.
- *Métrica do peso seco livre de cinzas:* Essa métrica foi determinada utilizando a mesma lógica da determinação de mediana, do cálculo e da interpretação da métrica de clorofila-a.

O valor de cada métrica varia entre 0-100, onde valores mais próximos de 100 indicam maior integridade ambiental. O IIBP final de cada amostra é a média das nove métricas apresentadas. Para a determinação de categorias, foram utilizados os valores propostos por Hill et al. (2003), onde $\text{IIBP} > 95$ indica ambientes com excelente qualidade ou referências, $95 > \text{IIBP} > 85$ indica ambientes com boa integridade, $85 > \text{IIBP} > 65$ indica ambientes com integridade aceitável, e $\text{IIBP} < 65$ indicam ambientes de baixa integridade. Vale ressaltar que esses valores foram obtidos por Hill et al. (2003) com base em ambientes lóticos referências nos Estados Unidos. Contudo, por falta de referências no Brasil e em ambientes lênticos, esta referência será utilizada neste relatório para a classificação. Ainda, serão realizadas correlações dos resultados das métricas, assim como do IIBP, com variáveis abióticas selecionadas e já analisadas por outros projetos do PMBA, avaliando separadamente os ambientes lênticos e lóticos.

3 RESULTADOS

Foi registrado na análise qualitativa, até a campanha de Fevereiro/2020, um total de 941 táxons de algas perifíticas. Em relação ao apresentado no relatório do Ano 1 (689 táxons; RRDM, 2019; RT 18I, Pág. 11), houve incremento de 252 táxons. Espera-se que esse número aumente, uma vez que ainda há informações sendo processadas quanto ao refinamento de identificações em andamento. Quanto à riqueza pontual (relacionado à análise quantitativa das amostras), foi observada tendência à diminuição no período de transição quando comparada aos resultados do Ano 1 (RRDM, 2019; RT 18I, Pág. 12), exceto para os lagos, onde foi observado aumento da riqueza nos lagos Nova e Juparanã e manutenção no Lago Limão (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Tabela 1: Média (e desvio padrão) da riqueza, densidade total, diversidade de Shannon, diversidade de Simpson, equabilidade, clorofila a e peso seco da comunidade perifítica nas estações amostrais do PMBA.

| | Riqueza <i>n</i> táxons | Densidade Total <i>Ind.cm⁻²</i> | Shannon <i>bits</i> | Simpson | Equabilidade | Clorofila-a <i>µg.cm⁻²</i> | Peso Seco <i>mg.cm⁻²</i> |
|------|----------------------------|--|------------------------|------------------|------------------|--|---|
| E17 | 8,6 (±5,4) | 31349,5 (± 29118,9) | 1,34 (± 0,62) | 0,61 (± 0,25) | 0,66 (± 0,19) | 0,44 (± 0,58) | 64,47 (± 85,26) |
| E0 | 5,9 (±3,7) | 19091,1 (± 31218,7) | 0,89 (± 0,53) | 0,55 (± 0,24) | 0,49 (± 0,23) | 0,09 (± 0,05) | 0,27 (± 0,42) |
| E21 | 12,3 (±6,4) | 23895,5 (± 36910,6) | 1,52 (± 0,52) | 0,65 (± 0,19) | 0,65 (± 0,16) | 0,27 (± 0,53) | 4,41 (± 11,46) |
| E22 | 16,2 (±11,9) | 11385,5 (±15518,3) | 1,62 (± 0,98) | 0,61 (± 0,34) | 0,58 (± 0,30) | 0,33 (± 0,36) | 0,42 (± 0,22) |
| E26 | 19,1 (±7,8) | 75420,2 (±110024,6) | 1,98 (± 0,54) | 0,76 (±0,11) | 0,70 (± 0,12) | 0,96 (± 1,28) | 4,34 (± 9,16) |
| E18 | 27,8 (±11,0) | 130734,6 (± 122695,0) | 2,20 (± 0,42) | 0,80 (± 0,07) | 0,67 (±0,05) | 0,69 (± 0,33) | 0,30 (± 0,10) |
| E19 | 32,0 (±2,2) | 151871,6 (±18281,0) | 2,29 (± 0,16) | 0,82 (± 0,05) | 0,66 (± 0,04) | 0,75 (± 0,81) | 0,77 (± 0,67) |
| E20 | 22,3 (±4,3) | 57672,9 (±40672,7) | 2,12 (± 0,26) | 0,82 (± 0,05) | 0,69 (± 0,06) | 0,56 (± 0,31) | 0,39 (± 0,29) |
| E24 | 14,0 (±5,7) | 146328,8 (±112316,4) | 1,05 (± 0,47) | 0,45 (± 0,28) | 0,41 (± 0,17) | 0,62 (± 0,58) | 0,21 (± 0,22) |
| E25 | 16,8 (±11,9) | 42817,9 (±57843,6) | 1,43 (± 0,45) | 0,59 (± 0,22) | 0,58 (± 0,25) | 0,52 (± 0,67) | 0,68 (± 0,66) |
| E25A | 34,0 (±12,6) | 13705,9 (±14034,0) | 2,67 (± 0,13) | 0,89 (± 0,02) | 0,78 (± 0,08) | 0,17 (± 0,11) | 0,13 (± 0,12) |

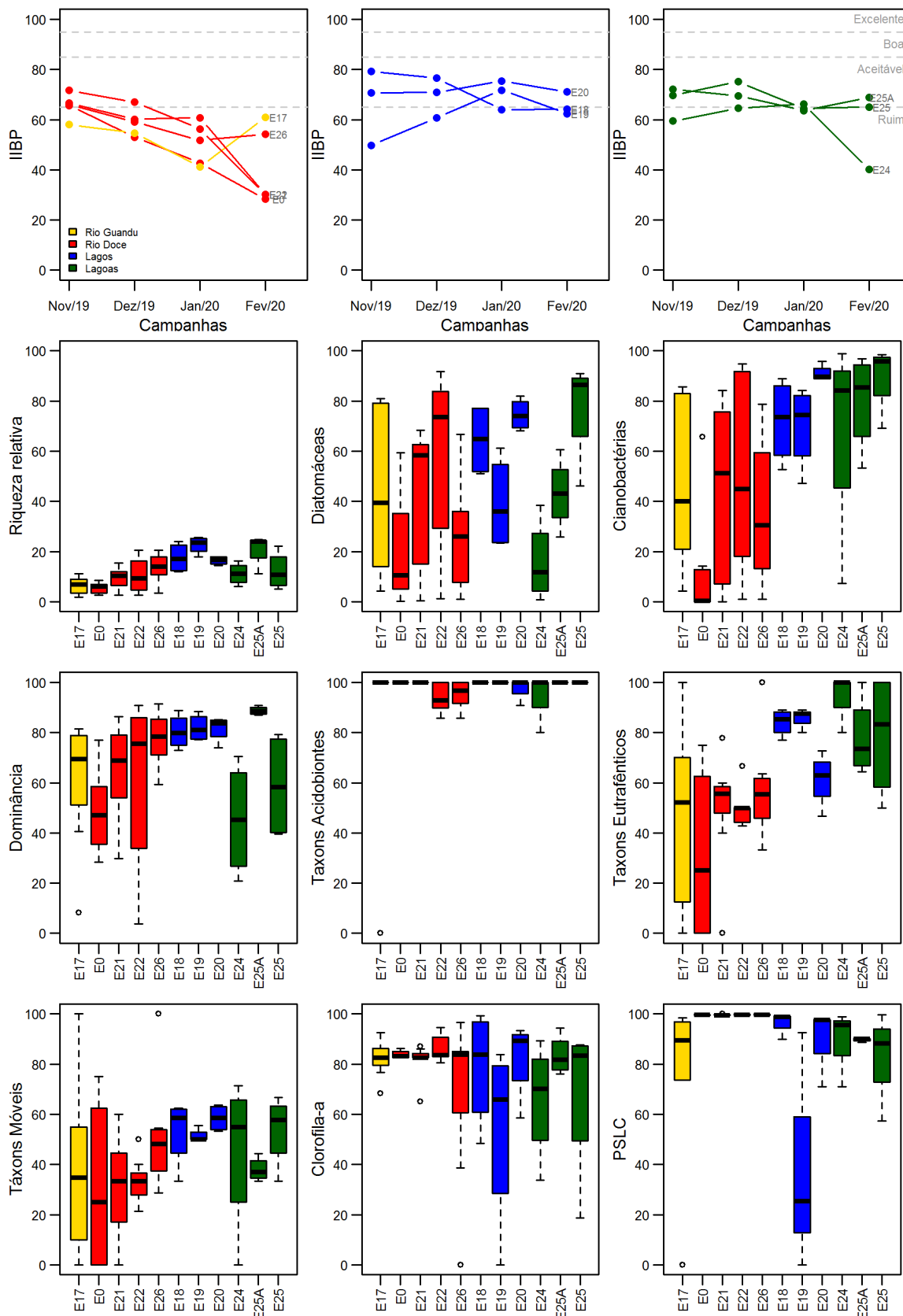
Quanto à diversidade, avaliada por meio do Índice de Shannon, Índice de Simpson e Equabilidade, foi observada a mesma tendência para o Ano 1 de monitoramento (RRDM, 2019; RT 18I, Pág. 16-17). Os rios Guandu e Doce apresentaram os menores valores de diversidade, quando comparados com lagos, que apresentaram os mais altos valores de diversidade. Exceção é o aumento dos valores de diversidade para a estação da Foz do rio Doce (E26), principalmente quando comparado ao Ano 1. Em todos os pontos houve forte diminuição da densidade total de algas na comunidade perifítica, em comparação aos dados do Ano 1 (RRDM, 2019; RT 18I, Pág. 32). Isto pode ser devido ao aumento do fluxo (vazão e turbidez, observação de campo) do rio doce e ao aumento das chuvas (remoção mecânica do perifíton; PIÑOSA, 2018). A mesma tendência foi observada para a clorofila-a. Contudo,

o peso seco foi maior nas estações amostrais em rios (sobretudo no rio Guandu) em comparação ao registrado no primeiro anos resultados de clorofila-a e peso seco, o que indica que o perífiton acumulou muito material particulado proveniente da coluna d'água, indicando aumento deste na água (corroborando o aumento dos valores de turbidez que, por sua vez, explicam os menores valores de biomassa).

Durante o período de transição, o IIBP mostrou que as estações no rio Doce poderiam ser, de forma geral, classificadas como integridade Aceitável apenas no mês de Novembro/2019, e com integridade Ruim nos demais meses, da mesma forma que o rio Guandu, que se enquadrrou nessa faixa de integridade em todas as campanhas (Figura 1). Nos lagos, foi observada melhora da integridade no lago Limão (E18) com diminuição no último mês de coleta. Contudo, a maior parte dos resultados ficou classificada como Ruim. Para o lago Nova foi observada diminuição na integridade, estando as duas últimas campanhas classificadas como Ruim. O lago Juparanã foi classificado como Aceitável em todas as campanhas. Em relação às lagoas, a Monsarás (E25 e E25A) apresentou integridade Aceitável em todas as campanhas, enquanto Areal apresentou integridade Ruim, exceto para o mês de Janeiro/2020. Nenhuma das estações amostrais, em nenhuma coleta, mostrou-se Boa ou Excelente (referência).

Dentre as métricas, comparando ambientes lóticos (rio Guandu e rio Doce), com ambientes lênticos (lagos e lagoas), as diferenças mais evidentes foram observadas na Riqueza Relativa (apesar de todas as estações apresentarem baixos valores), métrica das cianobactérias, táxons de diatomáceas eutróficas e táxons de diatomáceas móveis. Esta última métrica, avaliada no relatório do Ano 1 (RRDM, 2019; RT 18I, Pág. 31), permanece com a mesma tendência: maior quantidade de diatomáceas móveis nos rios, indicando impacto por particulado (provavelmente proveniente de eventos de lavagem do solo descoberto adjacente ao longo da bacia). Os menores valores das métricas para os ambientes lóticos indica que há maiores perturbações nesses locais.

Figura 1: Boxplot do Índice de Integridade Biótica do Perifiton (IIBP) e suas métricas ao longo das campanhas e estações amostrais avaliadas. Para cada estação, foram incluídos os resultados das campanhas e, no caso dos rios, da comunidade perifítica das duas margens analisadas.



A correlação de Pearson foi realizada para avaliar a relação das métricas e do IIBP com algumas variáveis ambientais já disponíveis, mesmo com alguns sem dados de turbidez, condutividade elétrica, pH, fósforo total, e os metais cromo, cobre, manganês e chumbo, todos em suas formas totais (Tabela 2). Essa análise de correlação ainda é preliminar, sendo que o ideal é entender a relação em cada tipo de ambiente (lênticos e lótico). Para isso, é necessário aumentar o número de observações, o que será feito no decorrer das coletas. A turbidez e a condutividade elétrica possuem correlações significativas com o IIBP e com algumas métricas, sendo que a turbidez possui correlação inversa, e a condutividade elétrica, correlação direta. Para os metais, apenas cromo e chumbo possuíram relação (inversa para ambos) com o IIBP e algumas variáveis, indicando que o aumento desses metais causa diminuição da integridade biótica.

Tabela 2: Correlação de Pearson entre o IIBP e suas métricas com algumas variáveis ambientais selecionadas (de acordo com a disponibilidade de dados). IIBP: Índice de Integridade Biótica do Perifiton; CE: condutividade elétrica; P total: Fósforo total; Metais totais: cromo (Cr), cobre (Cu), manganês (Mn) e chumbo (Pb). São apresentadas apenas as correlações significativas ($p < 0,05$).

| | Turbidez | CE | pH | P total | Cr total | Cu total | Mn total | Pb total |
|-----------------------|----------|------|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| IIBP | -0,39 | 0,26 | | | -0,36 | | | -0,26 |
| Riqueza Relativa | -0,49 | | | -0,36 | -0,47 | | | -0,35 |
| Métrica Diatomácea | -0,34 | 0,27 | | | -0,27 | | | |
| Métrica Cianobactéria | -0,52 | 0,32 | | | -0,51 | | | -0,31 |
| Dominância | -0,24 | | | | | | | |
| Métrica Acidobionte | | | | | | | | |
| Métrica Eutrafêntico | | | -0,40 | | | | | -0,34 |
| Diatomáceas móveis | | | | -0,41 | | | | |
| Clorofila métrica | 0,28 | | | | | | | |
| PSLC métrica | | | | | | | | |

4 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S.Z.; FERNANDES, V.O. Effects of intensive fish-farming and domestic wastewater on the periphytic algal community in a tropical coastal lagoon (Juara, Brazil). **Acta Scientiarum, Biological Sciences**, v. 35, p. 335-342, 2013.

ALMEIDA, S.Z.; FERNANDES, V.O. Periphytic algal biomass in two distinct regions of a tropical coastal lake. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, p. 244-254, 2012.

BARBOUR, M. T. et al. **Rapid Bioassessment Protocols for use in wadeable streams and rivers - periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish**. 2nd ed. p.233-298, 1999.

BIGGS, B.J.F. & KILROY, C. **Stream periphyton monitoring manual**. Niwa: New Zeland, p. 246, 2000.

- FERNANDES, V.O. **Variação temporal da estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em dois tipos de substrato na Lagoa Imboassica, Macaé (RJ)**. 1997. 198 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1997
- HILL, B.H. et al. Periphyton community responses to elevated metal concentrations in a Rocky Mountain stream. **Hydrobiologia**, v. 428, p. 161, 2000.
- HILL, B.H.; HERLIHY, A.T.; KAUFMANN, P.R.; DECELLES, S.J.; BORGH, M.A.V. Assessment of streams of the eastern United States using a periphyton index of biotic integrity. **Ecological Indicators**, v. 2, p. 325-338, 2003.
- HILL, B.H.; HERLIHY, A.T.; KAUFMANN, P.R.; STEVENSON, R.J.; MCCORMICK, F.H.; JOHNSON, C.B. Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity. **Journal of North American Benthological Society**, v. 19, p. 50-67, 2000.
- LELAND, H. V.; CARTER, J. L. Effects of copper on species composition of periphyton in a Sierra Nevada, California, stream. **Freshw. Biol.**, v.14, n.3, p.281–296, 1984.
- LOWE, R.L.; PAN, Y. Periphyton patterns in lakes. In: Stevenson, R.J.; Bothwell, M.L.; Lowe, R.L. (Eds). **Algal ecology: freshwater benthic ecosystems**. New York: Academic Press. 1996. p. 57-76.
- MCCAULEY, J.R.; BOULDIN, J.L. Cadmium Accumulation in Periphyton from an Abandoned Mining District in the Buffalo National River, Arkansas. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 96, p. 757, 2016.
- PIÑOSA, L.A.G. Influence of colonization time on phytoperiphyton growth during wet and dry seasons in brackish water pond. **Journal of Applied Phycology**, v. 30, p. 3633-3641, 2018.
- POIKANE, S.; KELLY, M.; CANTONATI, M. Benthic algal assessment of ecological status in European lakes and rivers: Challenges and opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 568, p. 603–613, 2016.
- RRDM. Relatório Anual: Anexo 3 Dulcícola – Perifiton – R18I. 60p., 2019
- STEVENSON, J.R. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: STEVENSON, J. R.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. (Eds.). **Algal ecology: freshwater benthic ecosystems**. New York: Academic Press. 1996. p. 3-30.
- WETZEL, R.G. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 24, p. 6-24, 1990.
- WETZEL, R.G. Opening remarks. In: _____. **Periphyton of freshwater ecosystems**. The Hague: Dr. W. Junk Publishers, 1983. p. 339-346