

Artigo Técnico

Invertebrados bentônicos associados a macrófitas aquáticas em um reservatório subtropical brasileiro

Benthic invertebrates associated with the aquatic macrophytes in a Brazilian subtropical reservoir

Matheus Novack^{1*} , Lucas Romano² , Letícia do Nascimento³ ,
Eliete Canterle¹ , Caroline Nunes Barboza⁴ 

RESUMO

As atividades humanas afetam a disponibilidade e a qualidade da água em muitos ecossistemas aquáticos. A Barragem Santa Bárbara é um importante manancial de abastecimento público do município de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil, que vem sofrendo um processo de eutrofização acelerado, tornando importante o uso de monitoramentos ambientais como ferramenta de controle desses mananciais. O objetivo deste estudo foi avaliar a comunidade de macroinvertebrados bentônicos presentes nas raízes de macrófitas aquáticas flutuantes e suas relações com a qualidade da água na bacia de acumulação da Barragem Santa Bárbara. Em 2018, foram realizadas quatro amostragens em dois ambientes desse ecossistema. As análises físico-químicas foram realizadas para correlacionar com as análises biológicas. Os macroinvertebrados bentônicos retirados das raízes das macrófitas aquáticas flutuantes foram triados e identificados ao menor nível taxonômico possível. Para análise de dados, foram utilizadas análises de regressão múltipla, análise de variância (ANOVA) e Análise de Componentes Principais. Os macroinvertebrados bentônicos foram analisados também quanto à ocorrência de frequência, riqueza e abundância, e ao índice de diversidade de Shannon-Wiener. Foi possível registrar 13154 espécimes de macroinvertebrados bentônicos associados a 100 g de peso seco de macrófitas aquáticas flutuantes, divididos em 35 táxons e distribuídos em nove ordens e 27 famílias. Os grupos mais abundantes foram Amphipoda, Chironomidae e Oligochaeta. O índice de diversidade apresentou média de $H' = 1,67$, classificando o ecossistema aquático como moderadamente poluído. As ferramentas utilizadas neste estudo são úteis para ações de gerenciamento e preservação de mananciais, principalmente os utilizados para abastecimento público.

Palavras-chave: diversidade; análises físico-químicas; estresse ambiental; riqueza; abundância.

ABSTRACT

Human activities affect the availability and quality of water in many aquatic ecosystems. The Santa Bárbara Dam is an important source of public water supply in the city of Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil, which has been undergoing an accelerated eutrophication process, thus making it important to use environmental monitoring as a control tool for these sources. The aim of this study was to evaluate the community of benthic macroinvertebrates in the roots of floating aquatic macrophytes and their connection with water quality in the Santa Bárbara Dam accumulation basin. Four samples were taken in 2018, in two environments of this ecosystem. Physical-chemical analyses were conducted to correlate with biological analyses. Benthic macroinvertebrates taken from the roots of floating aquatic macrophytes were screened and identified at the lowest possible taxonomic level. For data analysis, multiple regression analysis, ANOVA, and Principal Component Analysis were used. Benthic macroinvertebrates were also analyzed for frequency, richness and abundance, and the Shannon-Wiener diversity index. It was possible to register 13154 specimens of benthic macroinvertebrates associated with 100 g of dry weight of floating aquatic macrophytes, divided into 35 taxa, and distributed in 09 orders and 27 families. The most abundant groups were Amphipoda, Chironomidae, and Oligochaeta. The diversity index showed an average of $H' = 1.67$, classifying the aquatic ecosystem as moderately polluted. The tools used in this study are useful for managing and preservation of water sources, especially those used for public supply.

Keywords: diversity; physicochemical analysis; environmental stress; richness; abundance.

INTRODUÇÃO

As atividades humanas que afetam o ciclo hidrológico, a disponibilidade de água e o acesso à água têm se intensificado e se tornado mais complexos desde a metade do século XX (TUNDISI; TUNDISI, 2015). Muitos ambientes aquáticos

são mananciais de abastecimento humano; por isso, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 (BRASIL, 2005) estabelece critérios para garantir que o sistema hídrico contenha sanidade adequada para o processo de tratamento.

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-riograndense - Pelotas (RS), Brasil.

²Universidade Federal de Pelotas - Pelotas (RS), Brasil.

³Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (DPL) - Pelotas (RS), Brasil.

⁴Brigada Militar do Rio Grande do Sul - Pelotas (RS), Brasil.

*Autor correspondente: matheus.novack10@gmail.com

Recebido: 28/11/2019 - Aceito: 21/08/2020 - Reg. ABES: 20190377

A Barragem Santa Bárbara (BSB) é um reservatório utilizado para abastecimento público do município de Pelotas, Rio Grande do Sul. Com o crescimento da zona urbana, esse ambiente aquático vem sofrendo um processo de eutrofização acelerado. Mesmo assim, Peil, Kuss e Gonçalves (2015) relatam que o sistema de tratamento de água do município é eficaz, e a água distribuída à população é de boa qualidade. No entanto, a água destinada para o consumo humano deve ser avaliada de forma frequente.

A presença de macrófitas aquáticas contribui positivamente para o metabolismo dos ecossistemas, a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia (POMPÊO, 2017). Os habitats fornecidos por macrófitas aquáticas flutuantes representam uma área apropriada para posturas, como refúgio, diversificação de alimentos e proteção contra predadores, sendo extremamente favoráveis para sustentar comunidades de organismos bentônicos (ALBERTONI; PALMA-SILVA, 2010).

Diversos fatores determinam a diversidade e a composição de macrófitas aquáticas. Entretanto, os de origem antrópica, como o excesso de nutrientes oriundos da descarga de efluentes domésticos e industriais e a erosão de terras agrícolas, são os mais preocupantes (DINIZ; SANTOS; MELO, 2018).

Os macroinvertebrados bentônicos são animais invertebrados que habitam no sedimento aquático, na coluna da água ou associados a raízes de plantas aquáticas, e representam importante papel central na dinâmica de nutrientes e no fluxo de energia em alguns ecossistemas (ESTEVES, 2011; APHA; AWWA; WEF, 2012). Eles são utilizados como bioindicadores de qualidade de água em razão de suas vantagens em relação a outros métodos, das quais podemos destacar o monitoramento em longo prazo, a pouca mobilidade, a sua abundância, o fato de serem organismos de fácil amostragem e a acessibilidade dos equipamentos utilizados na coleta (BARBOSA, 2016).

Martins et al. (2015) reforçam a importância de avaliar as condições ecológicas do reservatório em várias escalas, ressaltando que o monitoramento da qualidade ambiental é muito importante para o gerenciamento de recursos naturais modificado por seres humanos, sensíveis a alterações no tempo e espaço, e sujeito a múltiplos usos concorrentes.

Com isso, torna-se evidente a importância da conservação e da manutenção de ecossistemas aquáticos, visando à segurança hídrica, a partir de um sistema de monitoramento efetivo de qualidade da água. Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar a comunidade de macroinvertebrados bentônicos associados a macrófitas aquáticas flutuantes e suas relações com a qualidade da água na bacia de acumulação da BSB, em Pelotas, Rio Grande do Sul.

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido na BSB, em Pelotas, Rio Grande do Sul, no ano de 2018. Quatro coletas foram realizadas em dois pontos amostrais (Figura 1): Sanga do Passo do Cunha (SPC) (S 31–42.038'/W 052°22.715') e bacia de acumulação da BSB, próximo ao ponto de captação de água bruta para abastecimento (S 31–43'36" W 52–22'01"). As campanhas amostrais foram realizadas nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro de 2018.

Área de estudo

A BSB (Figura 1) localiza-se no município de Pelotas, Rio Grande do Sul, e foi construída na década de 1960 pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS). Dela é captada água bruta para a Estação de Tratamento de Água Santa Bárbara, construída a jusante da barragem, a qual produz mais

de 40 milhões L.dia⁻¹, representando mais de 50% da distribuição de água potável para o município de Pelotas (SANEP, 2019).

Atualmente, a BSB possui 352 hectares inundados, com profundidade média na bacia de acumulação de 3 a 4 m e com volume de água estimado em 10 bilhões de litros. Além disso, ela apresenta 359 hectares de Área de Proteção Permanente (APP) ao seu redor e, atualmente, é abastecida por três principais afluentes, vulgarmente conhecidos por Sanga da Barbuda, Sanga do Epaminondas e Sanga do Passo do Cunha (SANEP, 2019).

O clima da região, segundo Kottek et al. (2006), é considerado subtropical úmido, de acordo com a classificação de Köppen-Geider. Os períodos de precipitação são distribuídos ao longo do ano, sem estações secas definidas.

A bacia de acumulação da BSB está inserida em uma paisagem onde predomina a vegetação de banhado com a formação de alguns capões de mata. Como o ecossistema do lago da barragem foi criado artificialmente, não exhibe mata ciliar original, e sim uma mata que se formou posteriormente no entorno da área inundada, apresentando vegetação típica de estágios de regeneração.

A partir de observações *in loco*, verificou-se que muitos dos lotes inundados apresentavam silvicultura com *Eucalyptus* sp. (eucalipto) — ainda é possível encontrar “tocos” dessas árvores na área inundada. Além desse, é comum encontrar na cobertura vegetal do entorno do lago: *Mimosa bimucronata* (maricá), *Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha) e *Pinus* sp. (pinheiro). Nas áreas mais baixas, observa-se vegetação de banhado, composta de espécies como *Typha domingensis* (taboa), *Scirpus* sp. e *Eryngium* sp. (gravatá).

No ponto amostral da BSB, o sedimento encontrado é basicamente composto de areia fina e argila, formando uma composição homogênea. A altura da lâmina d'água varia conforme a sazonalidade do ano (precipitação). Sendo um reservatório, comporta-se como um ambiente semilêntico.

A SPC apresenta nascentes ao norte da BSB e recebe efluentes agrícolas, originados da pecuária leiteira, da fruticultura, da avicultura e do florestamento (PIEDRAS et al., 2006).

O ponto amostral na SPC está localizado no encontro com a bacia de acumulação da BSB, onde, geralmente, encontra-se uma densa cobertura de macrófitas aquáticas, principalmente *Salvinia* sp. (marrequinha) e *Pistia stratiotes* (alface d'água). O entorno apresenta silvicultura de *Eucalyptus* sp. (eucalipto) e alguns exemplares de *Mimosa bimucronata* (maricá) e *Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha). Esse ponto apresenta sedimento compactado e denso, composto de argila, enquanto a coluna da água varia em torno de 0,50 a 1,20 m de profundidade, e com pouco fluxo de correnteza.

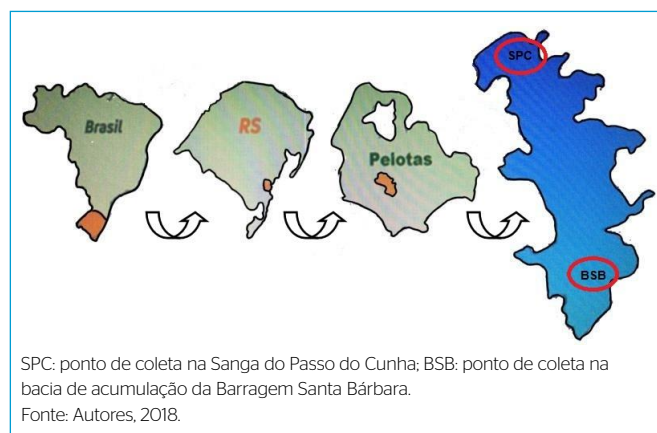


Figura 1 – Localização dos pontos amostrais e da Barragem Santa Bárbara, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Amostragens

Em cada ponto amostral foi coletada uma amostra da água para a realização das análises físico-químicas utilizando balde com corda e três réplicas de substrato (de macrófitas aquáticas flutuantes) com o auxílio de uma rede de mãos (malha 250 µm) para análises de macroinvertebrados bentônicos.

Todas as análises foram desenvolvidas na Divisão de Laboratório do Departamento de Tratamento do Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP).

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com APHA, AWWA e WEF (2012), onde foram determinadas quantificações de fósforo total (P), nitrogênio amoniacal total (NH₃), oxigênio dissolvido (DO — O₂), pH (potencial hidrogeniônico) e turbidez. Os resultados foram comparados à Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e suas diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e dá outras providências.

As amostras de macrófitas aquáticas, ao chegarem ao laboratório, passaram por um processo de lavagem em água corrente sob peneira 250 µm, visando desprender os espécimes associados, sendo eles, então, fixados em álcool 70%, para análises posteriores.

Após a lavagem das macrófitas e a separação dos macroinvertebrados bentônicos, ocorreu a secagem da biomassa das plantas, que foram colocadas em estufa elétrica (SOLIDSTEEEL 85 L) a 60°C. Diariamente, foi realizada a pesagem das macrófitas, até que o peso seco estivesse estabilizado, para estimar o número de organismos associados a 100 g de peso seco das plantas, para então obter o resultado final da amostra (GLOWACKA, 1976; ALBERTONI; PALMA-SILVA, 2006).

Os macroinvertebrados bentônicos associados às raízes das macrófitas aquáticas foram, inicialmente, triados em lupa estereoscópica (PRECISION) e identificados ao menor nível taxonômico possível com o auxílio de chaves taxonômicas (MUGNAI; NESSIMIAN; BAPTISTA, 2010). Todos os espécimes foram depositados na Coleção Referência de Macroinvertebrados Bentônicos do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense.

Com isso, foram determinadas a riqueza (somatório dos táxons identificados) e a abundância (somatório dos espécimes identificados em 100 g de peso seco de macrófita), conforme a Equação 1.

$$X = [(A \times 100) / B] \quad (1)$$

Em que:

A = número de espécimes identificados;

B = valor do peso seco de macrófita.

A constância de ocorrência (C) foi calculada segundo Winckler, Güths e Gayer (2017), considerando que as espécies foram classificadas em três grupos: espécies acidentais (espécies que ocorreram em até 25% das amostras); espécies acessórias (espécies que ocorreram entre 25 e 50% das amostras) e espécies constantes (espécies que ocorreram acima de 50% das amostras), com base na Equação 2:

$$C = [(número\ de\ amostras\ com\ espécies / número\ total\ de\ amostras) \times 100] \quad (2)$$

Além disso, calculou-se o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H'), de acordo com Magurran (1989) (Equação 3):

$$H' = - \sum pi * \ln pi, \quad pi = ni / N \quad (3)$$

Em que:

pi = proporção de indivíduos da i-ésima espécie;

ln = logaritmo de base neperiano (e);

ni = número de indivíduos amostrados para a espécie i;

N = número total de indivíduos amostrados.

Atribuíram-se valores de H' segundo Wilhm & Dorris (1968), em que:

- H' < 1 = águas altamente poluídas;
- H' > 3 = águas não poluídas;
- 1 < H' < 3 = águas moderadamente poluídas.

Análise de dados

Foram utilizadas análises de regressão múltipla para melhorar a compreensão e explicar as relações entre os fatores bióticos e abióticos, além da realização da análise de variância (ANOVA) para determinar as diferenças entre os ambientes estudados. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi aplicada para determinar o cenário dos diferentes pontos de coleta. Um nível de probabilidade de p < 0,05 foi usado para determinar a significância estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos analisados durante o período estudado foram comparados com a Resolução CONAMA n° 357/2005, que estabelece os padrões de qualidade de água utilizados para o abastecimento público, sendo considerados classe II, segundo o Art. 42 dessa resolução. Esses padrões estão apresentados na Tabela 1.

Os parâmetros de OD, pH e turbidez apresentaram resultados dentro dos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005. Resultados semelhantes foram registrados por Novack *et al.* (2015) e Kath, Timm e Monks

Tabela 1 - Parâmetros físicos e químicos da água da Barragem Santa Bárbara, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Estações de coleta	Verão		Outono		Inverno		Primavera
	SPC	BSB	SPC	BSB	SPC	SPC	
Fósforo total (mg P/L)	0,49	0,82	1,00	0,42	0,25	0,44	
Nitrogênio amoniacal total (mg NH ₃ /L)	2,05	1,48	1,33	1,19	0,65	0,89	
Oxigênio dissolvido (mg O ₂ /L)	8,10	7,03	6,30	8,00	7,80	5,60	
pH	7,05	7,27	7,20	6,67	6,80	7,17	
Temperatura do ar (°C)	25,00	15,80	15,00	12,80	11,00	24,00	
Temperatura da água (°C)	28,00	19,00	16,00	13,80	14,00	25,00	
Turbidez (NTU)	83,40	64,09	51,50	33,05	35,80	42,64	

SPC: Sanga do Passo do Cunha; BSB: Barragem Santa Bárbara.
Fonte: Autores (2018).

(2017). Salienta-se que há registros de elevação de pH em períodos de florações de cianobactérias, conforme dados fornecidos pelo SANEP.

As temperaturas do ar e da água apresentaram-se na faixa de 11 a 28°C. Gloria, Horn e Hilgemann (2017) descrevem que a elevação de temperatura, na maioria das vezes, aumenta o índice de reações físicas, químicas e biológicas, diminuindo a solubilidade dos gases, por exemplo, o oxigênio. Haidekker e Hering (2008) relatam que a temperatura é um fator determinante nas características dos macroinvertebrados bentônicos, afetando o desenvolvimento embrionário, o crescimento, o funcionamento e o metabolismo desses organismos.

Observou-se que apenas o parâmetro P, em todos os pontos coletados, excedeu o valor máximo permitido de 0,050 mg.L⁻¹ dessa resolução. Viola, Almeida e Barbosa (2016) encontraram valores elevados de fósforo em ambientes aquáticos e atribuíram sua origem a fontes pontuais de poluição, como os esgotos sanitários.

No entanto, os resultados de NH₃ estiveram dentro do limite permitido pela resolução (3,7 mg.L⁻¹). Os trabalhos de Peláez-Rodríguez (2001) e Pareschi (2008) associam o incremento no valor de NH₃ ao aumento da poluição orgânica.

Os valores mais elevados registrados para pluviosidade (Figura 2) ocorreram em julho (345 mm), no inverno, e em setembro (292 mm), durante a primavera. Já os menores registros ocorreram em outubro (18 mm), na primavera, e em maio (23 mm), no outono. No presente estudo, nos meses em que foram realizadas as coletas, foram registrados baixos valores de precipitação. Esse fato pode ter favorecido a manutenção da composição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos nos períodos de coleta (Tabela 2). Hynes (1972) e Brandimarte (1997) descrevem a forte influência do ciclo hidrológico sobre a sazonalidade, resultando em drástica redução do número de organismos durante o período chuvoso, uma vez que a chuva provoca a dispersão e o arraste de partículas, ocasionando maior dificuldade de permanência dos organismos e deriva da fauna. No entanto, Callisto, Moretti e Goulart (2001) registraram aumento da presença de macroinvertebrados bentônicos em períodos elevados

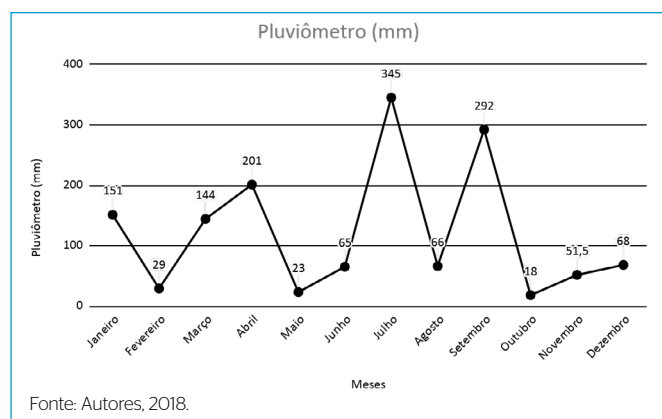


Figura 2 - Índice de pluviosidade no ano de 2018.

Tabela 2 - Ocorrência e biomassa de macrófitas aquáticas flutuantes nos dois pontos estudados na Barragem Santa Bárbara, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Verão	Outono		Inverno		Primavera
SPC	BSB	SPC	BSB	SPC	SPC
8,16 g	6,75 g	7,94 g	18,30 g	10,24 g	10,69 g

SPC: Sanga do Passo do Cunha; BSB: Barragem Santa Bárbara.
Fonte: Autores (2018).

de chuva, alegando que esse evento natural aumenta a profundidade e os habitats disponíveis para a colonização dos organismos bentônicos.

O ponto de coleta na SPC registrou a presença de macrófitas aquáticas flutuantes nas quatro estações do ano em estudo, enquanto o ponto de captação de água bruta da BSB, em apenas duas estações (Tabela 2). Esse fato, provavelmente, deve estar associado ao deslocamento do estande de macrófitas aquáticas no lago da Barragem (bacia de acumulação), em virtude do volume de precipitação de chuva ocorrido nos meses que antecederam as coletas realizadas nas estações do outono e do inverno, além da redução da oferta de nutrientes nesse período.

As macrófitas aquáticas flutuantes são substratos que favorecem o estabelecimento de comunidades de macroinvertebrados bentônicos, pois, segundo Albertoni e Palma-Silva (2010), a abundância de plantas aquáticas disponibiliza grande quantidade de matéria orgânica, energia e heterogeneidade de habitat. Saulino e Trivinho-Strixino (2014) relatam que o maior volume das raízes de *Eichhornia azurea* em uma lagoa marginal no Pantanal, Mato Grosso do Sul, proporcionou maior disponibilidade de microhabitats para a fauna de macroinvertebrados, favorecendo, assim, o aumento da abundância e riqueza da fauna de macroinvertebrados bentônicos associados a macrófitas aquáticas. Fulan e Anjos (2015) também observaram que as macrófitas aquáticas proporcionam abrigo e proteção para organismos aquáticos, dificultando a predação desses.

Em relação à presença de macroinvertebrados bentônicos (Tabela 3) associados às raízes das macrófitas aquáticas flutuantes (*Pistia stratiotes* e *Salvinia sp.*), foi possível registrar 13.154 organismos, divididos em 35 táxons e distribuídos em nove ordens e 27 famílias.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, pode-se verificar que a SPC registrou a maior riqueza (19 táxons) de macroinvertebrados bentônicos no outono e a maior abundância (2.940 espécimes) na primavera (Tabela 3). Já a BSB registrou sua maior riqueza (20 táxons) e sua maior abundância (4.168 espécimes) durante o inverno (Tabela 3). Com isso, podemos avaliar que, no inverno, na BSB, a maior quantidade de biomassa de macrófitas coletada favoreceu um registro maior na riqueza taxonômica. Por outro lado, na SPC, a maior biomassa de macrófitas foi registrada na primavera e sua maior riqueza, no outono.

Diversos fatores afetam a diminuição da abundância e da riqueza dos macroinvertebrados bentônicos, principalmente o descarte de efluentes orgânicos nos ecossistemas aquáticos. Smith, Bode e Kleppel (2007) relatam que o aporte de nutrientes em ecossistemas aquáticos influencia grandemente a estrutura e a composição das comunidades de macroinvertebrados bentônicos. Diante disso, a análise de regressão múltipla (Tabela 4) demonstra a importância da ação do conjunto de variáveis físico-químicas para a determinação da abundância e da riqueza dos macroinvertebrados bentônicos nos ambientes estudados.

A ocorrência dos grupos de Hirudinida ($p < 0,00002$; $n = 3$), Amphipoda ($p < 0,00110$; $n = 3$), Ceratopogonidae ($p < 0,00002$; $n = 3$) e Stratimyidae ($p < 0,00001$; $n = 3$) apresentou relação significativa com as variáveis físico-químicas analisadas neste estudo, explicando a abundância desses organismos diante desse cenário.

Observou-se a presença constante de cinco táxons de macroinvertebrados bentônicos: Oligochaeta, Chironomidae, Coenagrionidae, Scirtidae e Amphipoda. Entre eles, o táxon mais abundante foi o Amphipoda.

Conforme a classificação por ocorrência de frequência (Figura 3 e Tabela 3), foram registrados 13 táxons acidentais, 12 táxons acessórios e dez táxons constantes, destacando-se, nesse último grupo, os táxons de Amphipoda, Chironomidae e Oligochaeta.

Após o grupo Amphipoda, os táxons Chironomidae e Oligochaeta apresentaram maior abundância de macroinvertebrados bentônicos associados a raízes de macrófitas aquáticas flutuantes. Esses organismos comportam-se como tolerantes diante de sua plasticidade alimentar e seu alto poder adaptativo a diferentes substratos e diferentes situações de estresse ambiental (WINCKLER; GÜTHS; GAYER, 2017).

Resultados semelhantes foram observados por Albertoni, Prellvitz e Palma-Silva (2007) em ambientes lenticos, onde foram encontradas as comunidades de invertebrados associados às macrófitas aquáticas, registrando os táxons de Chironomidae, Daphniidae e Cyclopidae, Oligochaeta e Coenagrionidae com maiores densidades de indivíduos.

Diniz, Santos e Melo (2018) registraram alta densidade de organismos encontrados na Lagoa das Capivaras, no município de Araçatuba, São Paulo, especialmente Oligochaeta e Chironomidae, em presença de baixo teor de OD. Esse fato serve como alerta, pois muitas dessas espécies de invertebrados habitam ambientes poluídos e são tolerantes às condições anóxicas e adversas da água. No presente estudo, o OD teve seus resultados em torno de 7,13 mg.L⁻¹, e ainda assim foi possível registrar abundância dos táxons de Chironomidae e Oligochaeta.

O H' (Tabela 5) apresenta seus maiores registros na SPC durante o outono (H' = 1,84) e a primavera (H' = 2,10), e na BSB durante o outono (H' = 1,84).

Piedras *et al.* (2006) registraram H' = 1,60 na BSB e H' = 1,44 na SPC, sendo as amostras coletadas com o amostrador do tipo "Core". Rauen *et al.* (2018) registraram H' = 1,6 em dados de biodiversidade na bacia do rio Passaúna, no ano de 2014, indicando um ecossistema aquático moderadamente degradado, tipicamente associado com o represamento de cursos de água e com certo grau de comprometimento da qualidade da água, onde a poluição era tipicamente por cargas orgânicas e de nutrientes. Isso pode ser explicado pelo fato de que alguns organismos são sensíveis à mudança de *habitat*, enquanto outros podem ser classificados como tolerante ou resistente (GOULART; CALLISTO, 2003). Rauen *et al.* (2018) relacionam os resultados de H' com a influência de níveis alterados de outros produtos químicos ou com questões de *habitat* físico.

Em um estudo realizado por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), diversos grupos de macroinvertebrados bentônicos apresentaram baixa tolerância a níveis reduzidos de oxigênio, enquanto outros, com adaptações morfológicas ou fisiológicas especiais, toleraram concentrações mais altas.

Ao longo deste estudo, foi possível registrar a presença de macrófitas aquáticas flutuantes em todos os períodos amostrados na SPC, enquanto na BSB as macrófitas se fizeram presentes apenas no outono e no inverno. Em decorrência

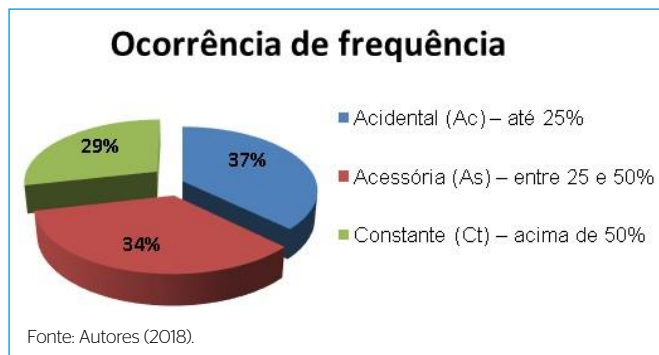


Figura 3 - Ocorrência de frequência de macroinvertebrados bentônicos associados a macrófitas aquáticas flutuantes nos dois pontos estudados na Barragem Santa Bárbara, Pelotas, Rio Grande do Sul.

Tabela 3 - Abundância (100 g de peso seco de macrófita), riqueza e ocorrência de frequência da fauna de macroinvertebrados bentônicos associados a raízes de macrófitas aquáticas flutuantes da Barragem Santa Bárbara, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Estações do ano	Verão	Outono		Inverno		Primavera	Fq.
Táxons	SPC	BSB	SPC	BSB	SPC	SPC	
Platyhelminthes							
Turbellaria	NQ	43	9	335	NQ	NQ	As
Nemata	NQ	5	NQ	NQ	NQ	2	As
Annelida							
Oligochaeta	509	186	190	21	38	536	Ct
Hirudinida	NQ	9	4	41	95	7	Ct
Arthropoda							
Crustaceae							
Amphipoda	264	163	272	2562	1135	2203	Ct
Insecta							
Ephemeroptera							
Baetidae	87	NQ	4	NQ	NQ	NQ	As
Caenidae	NQ	15	NQ	NQ	NQ	NQ	Ac
Odonata							
Libellulidae	NQ	NQ	8	NQ	NQ	NQ	Ac
Dicteridae	NQ	9	9	NQ	NQ	NQ	Ac
Calopteridae	NQ	NQ	8	NQ	NQ	NQ	Ac
Coenagrionidae	17	5	4	27	7	21	Ct
Coleoptera							
Curculionidae	NQ	NQ	NQ	93	18	2	As
Dytiscidae	127	NQ	8	99	14	26	Ct
Hydrophilidae	48	NQ	5	36	11	10	Ct
Scirtidae	132	206	161	5	3	14	Ct
Helodidae	6	16	NQ	NQ	NQ	NQ	As
Carabidae	NQ	NQ	NQ	2	NQ	NQ	Ac
Noteridae	NQ	NQ	NQ	2	NQ	NQ	Ac
Lompidae	NQ	NQ	NQ	2	NQ	NQ	Ac
Hydroscaphidae	NQ	NQ	NQ	2	NQ	NQ	Ac
Dryophidae	NQ	NQ	NQ	NQ	7	NQ	Ac
Elmidae	NQ	NQ	NQ	NQ	NQ	16	Ac
Diptera							
Chironomidae	1092	311	280	5	7	94	Ct
Culicidae	129	NQ	31	NQ	NQ	NQ	As
Stratiomyidae	8	NQ	NQ	308	21	NQ	As
Charboridae	15	22	30	NQ	NQ	NQ	As
Ceratopogonidae	NQ	5	5	481	93	NQ	Ct
Ephydriidae	NQ	NQ	NQ	2	NQ	NQ	Ac
Tricoptera							
Hydroptilidae	NQ	NQ	5	NQ	NQ	NQ	Ac
Lepidoptera	4	NQ	NQ	15	NQ	NQ	As
Hemiptera							
Pleidae	8	NQ	NQ	20	NQ	3	As
Chelicerata							
Acari	12	NQ	8	110	17	2	Ct
Mollusca							
Gastropoda							
Planorbidae	12	9	NQ	NQ	NQ	4	As
Physidae	9	NQ	4	NQ	23	NQ	As
Bivalvia	62	NQ	NQ	NQ	NQ	NQ	Ac
Riqueza	18	14	19	20	14	14	
Abundância	2559	1004	1045	4168	1489	2940	

Fq.: frequência; SPC: Sanga do Passo do Cunha; BSB: Barragem Santa Bárbara; NQ: não quantificado; As: acessória; Ct: constante; Ac: accidental. Fonte: Autores (2018).

desse fato, a ACP (Figura 4) considerou a presença das macrófitas flutuantes nas quatro estações para a SPC e nas duas estações para a BSB, para melhor entendimento do cenário nos dois ambientes estudados.

Tabela 4 - Resultados da análise de regressão múltipla incluindo variáveis físico-químicas e macroinvertebrados bentônicos.

Variável independente	Variável dependente	F	P	R
Fósforo total, nitrogênio amoniacal total, pH, oxigênio dissolvido, temperatura do ar e da água, e turbidez.	Hirudinida	22,52	0,00002	0,89
	Amphipoda	9,28	0,00110	0,86
	Ceratopogonidae	21,88	0,00002	0,93
	Stratiomyidae	41,7	p < 0,00001	0,96

F: F-Statistic; P: Probabilidade (F-Statistic); R: R-Quadrado.
Fonte: Autores (2018).

Tabela 5 - Classificação do índice de diversidade de Shannon-Wiener para os locais de coletas nas diferentes estações do ano.

Estações de coleta	Verão	Outono		Inverno		Primavera
Locais de coleta	SPC	BSB	SPC	BSB	SPC	SPC
H'	1,85	1,85	1,86	1,24	1,15	2,10
Classificação	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP

SPC: Sanga do Passo do Cunha; BSB: Barragem Santa Bárbara; AMP: águas moderadamente poluídas.
Fonte: Autores (2018).

A ACP explicou 62,52% da variabilidade dos dados nos dois primeiros eixos. O eixo 1 explicou 44,49% da variabilidade dos dados, correlacionando apenas o OD positivamente (0,09), enquanto as demais unidades experimentais se localizaram no lado negativo desse eixo: pH (-0,22), P (-0,17), temperatura da água (-0,14), turbidez (-0,14), temperatura do ar (-0,13) e NH₃ (-0,09). O eixo 2 explicou 18,03% da variabilidade dos dados e mostrou que, na ordenação das variáveis, esse eixo foi positivamente correlacionado com a temperatura do ar (0,23), a temperatura da água (0,20) e o pH (0,05). Por sua vez, o mesmo eixo obteve correlações negativas com turbidez (-0,21), OD (-0,20), P (-0,11) e NH₃ (-0,06). A ACP também apresentou tendência a um gradiente sazonal definido pelo eixo 1.

Os parâmetros de OD, temperatura do ar e temperatura da água determinaram a separação do gradiente sazonal, registrando uma discrepância entre as estações inverno e primavera. No entanto, na SPC, as estações verão e outono encontram-se sobrepostas em um cenário incrementado pela oferta de nutrientes, especialmente P e NH₃, enquanto as estações outono e inverno apresentaram tendência semelhante para os dois pontos amostrais. O OD evidencia um gradiente sazonal para os dois pontos amostrais.

Na presença de macrófitas aquáticas nos dois ambientes, ou seja, nas estações outono e inverno, pode-se verificar maior abundância de organismos pertencentes aos grupos Stratiomyidae e Ceratopogonidae, especialmente no inverno. Por outro lado, considerando-se apenas os organismos coletados na SPC, observa-se um aumento do grupo Chironomidae no verão, representando mais de 40% dos espécimes amostrados. Destaca-se, também, o grupo

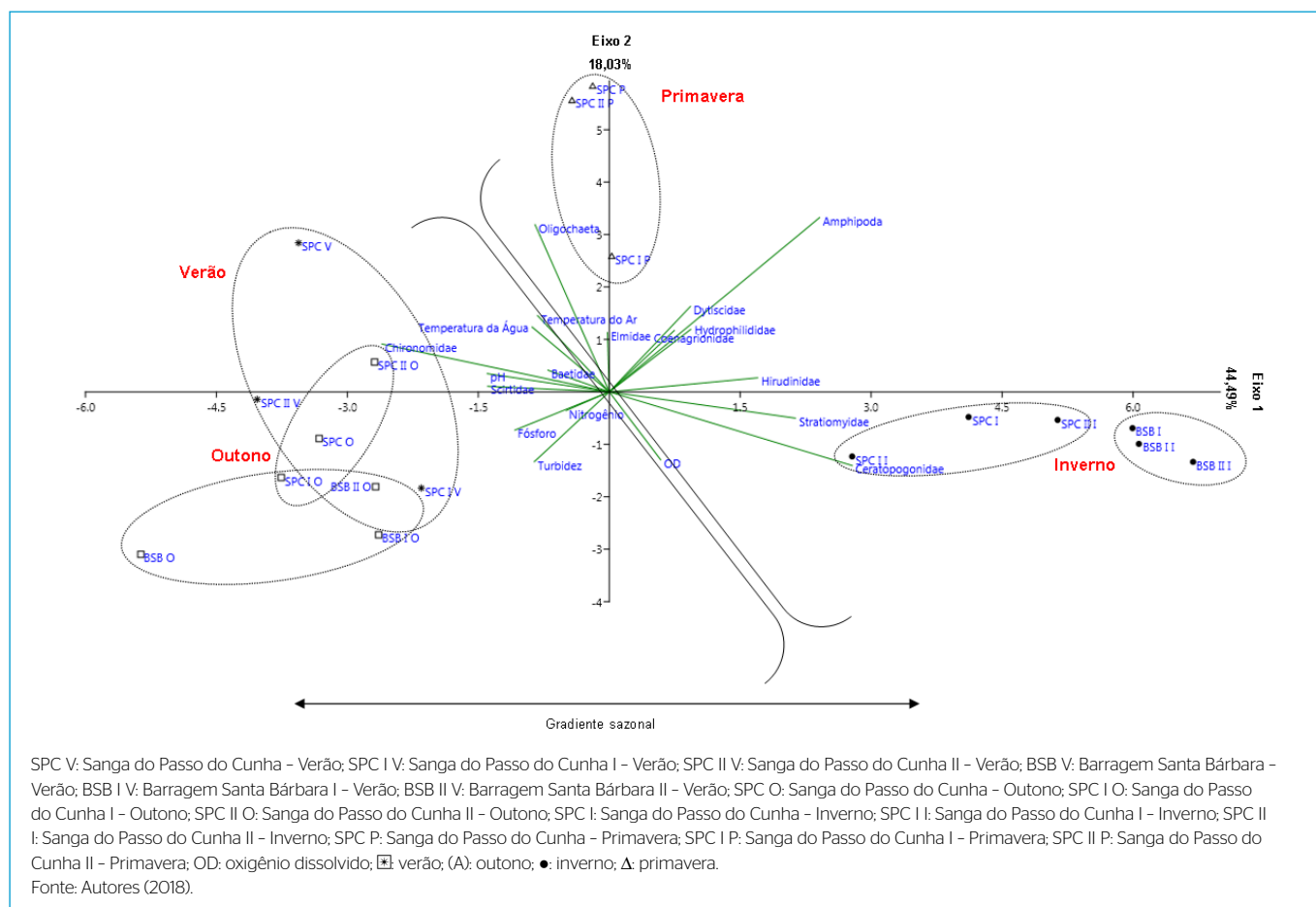


Figura 4 - Análise de Componentes Principais entre os dois pontos estudados.

Amphipoda nas estações inverno e primavera, com aumento em sua abundância nesses períodos. Além disso, a análise de variância não apresentou diferenças significativas entre os ambientes estudados.

CONCLUSÕES

Neste estudo, foi possível observar que apenas o parâmetro P apresentou seus resultados elevados, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, em todos os pontos amostrados.

As macrófitas aquáticas flutuantes forneceram um *habitat* favorável para o desenvolvimento de macroinvertebrados bentônicos. Neste trabalho, foi possível registrar 13.154 espécimes de macroinvertebrados bentônicos associados a 100 g de dois tipos de raízes macrófitas aquáticas flutuantes (*Pistia stratiotes* e *Salvinia sp.*), divididos em 35 táxons, e distribuídos em nove ordens e 27 famílias. Destacamos a presença frequente dos táxons de Oligochaeta, Chironomidae, Coenagrionidae, Scirtidae e Amphipoda, sendo esse último o grupo mais abundante e característico, presente em todas as amostras de macrófitas aquáticas flutuantes coletadas.

Os resultados do H', classificados como "águas moderadamente poluídas", evidenciam o registro constante de organismos resistentes, característicos de ambientes mais eutrofizados, demonstrando que a integridade dos ecossistemas aquáticos sofre, provavelmente, a interferência da ocupação do entorno desses.

O cenário obtido por meio da ACP sugere um gradiente sazonal para os dois pontos amostrais. Pode-se observar uma tendência semelhante nas estações outono e inverno nos dois pontos amostrais, e uma sobreposição nas estações verão e outono na SPC. A primavera apresenta-se isolada das demais estações, estando associada ao aumento da abundância do grupo Amphipoda.

Os dois pontos estudados apresentaram impacto moderadamente poluído no que diz respeito à diversidade de macroinvertebrados bentônicos associados a raízes de macrófitas aquáticas flutuantes.

Diante do exposto, sugere-se mais estudos nessa área, para que se possa ampliar a contribuição relativa aos recursos hídricos.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Novack, M.: Administração do Projeto, Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Software, Investigação, Metodologia, Escrita – Primeira Redação, Validação, Recursos, Escrita – Revisão e Edição. Romano, L.: Curadoria de Dados, Metodologia, Software, Escrita – Primeira Redação. Nascimento, L.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Validação, Escrita – Primeira Redação, Recursos. Canterle, E.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Validação, Escrita – Revisão e Edição. Barboza, C. N.: Curadoria de Dados, Investigação e Metodologia.

REFERÊNCIAS

- ALBERTONI, E.F.; PALMA-SILVA, C. Caracterização e importância dos invertebrados de água continentais com ênfase nos ambientes de Rio Grande. *Caderno de Ecologia Aquática*, Rio Grande, v. 5, n. 1, p. 9-27, 2010.
- ALBERTONI, E.F.; PALMA-SILVA, C. Macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas flutuantes em canais urbanos de escoamento pluvial (Balneário Cassino, Rio Grande, RS). *Neotropical Biology and Conservation*, v. 1, n. 2, p. 90-100, 2006.
- ALBERTONI, E.F.; PRELLVITZ, L.J.; PALMA-SILVA, C. Macroinvertebrate fauna associated with *Pistia stratiotes* and *Nymphoides indica* at subtropical lakes (South Brazil). *Revista Brasileira de Biologia*, v. 67, n. 3, p. 499-507, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842007000300015>
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington, DC.: APHA, AWWA, WEF, 2012.
- BARBOSA, A.H.S.; SILVA, C.S.P.; ARAÚJO, S.E.; LIMA, T.B.B.; DANTAS, I.M. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água em um trecho do rio Apodi-Mossoró. *Holos*, ano 32, v. 7, 2016. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.4183>
- BRANDIMARTE, A.L. *Impactos limnológicos da construção do reservatório de aproveitamento múltiplo do rio Mogi-Guaçu (SP, Brasil) sobre a comunidade de invertebrados bentônicos*. 97f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de maio de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, p. 374-400, 2005.
- CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 1, p. 71-82, 2001. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v6n1.p71-82>
- DINIZ, F.M.; SANTOS, M.O.; MELO, S.M. Levantamento da fauna de macroinvertebrados associados à macrófitas aquáticas. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 3, n. 1, p. 86-91, 2018. <https://doi.org/10.24221/jeap.31.2018.1693.086-091>
- ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.
- FULAN, J.A.; ANJOS, M.R. Predation by *Erythemis* nymphs (Odonata) on Chironomidae (Diptera) and Elmidae (Coleoptera) in different conditions of habitat complexity. *Acta Limnológica Brasiliensis*, v. 27, n. 4, p. 454-458, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2415>
- GLORIA, L.P.; HORN, B.C.; HILGEMANN, M. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água - IQA. *Caderno Pedagógico*. Lajeado, v. 14, n. 1, p. 103-119, 2017. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1421>

- GLOWACKA, I. Invertebrates associated with Macrophytes. In: PIECZYNSKA, E. (org.). *Selected problems of lake littoral ecology*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego. Warszawskiego: Warszawa, 1976. 238 p.
- GOULART, M.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, ano 2, n. 1, 2003.
- HAIDEKKER, A.; HERING, D. Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany: a multivariate study. *Aquatic Ecology*, v. 42, n. 3, p. 463-481, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10452-007-9097-z>
- HYNES, H.B.N. *The ecology of running Waters*. Reino Unido: Liverpool University Press, 1972. 555 p.
- KATH, A.H.; TIMM, J.G.; MONKS, J.L.F. Caracterização de parâmetros físico-químicos e correlações com o manganês nos afluentes da barragem Santa Bárbara, Pelotas/RS. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 8, n. 2, p. 34-48, 2017. <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0003>
- KOTTEK, M.; GRIESER, L.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geider climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006. <https://doi.org/10.1127/O941-2948/2006/0130>
- MAGURRAN, A.E. *Diversidad ecológica y su medición*. Barcelona: Vedral, 1989. 200 p.
- MARTINS, I.; SANCHES, B.; KAUFMANN, P.R.; HUGHES, R.M.; SANTOS, G.B.; MOLOZZI, J.; CALLISTO, M. Ecological assessment of a southeastern Brazil reservoir. *Biota Neotropica*, v. 15, n. 1, p. e20140061, 2015. <https://doi.org/10.1590/1676-06032015006114>
- 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.
- NOVACK, M.L.; NASCIMENTO, L.V.; NEITZEL, L.H.; BRUM, A.A. Caracterização da água bruta da Barragem Santa Bárbara - Pelotas/RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 24. SEMANA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 1, 2015. *Anais...* Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2015.
- PARESCHI, D.C. *Macroinvertebrados bentônicos como indicadores da qualidade da água em rios e reservatórios da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (SP)*. 169f. Tese (Doutorado) - Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.
- PEIL, G.H.S.; KUSS, A.V.; GONÇALVES, M.C.F. Avaliação da qualidade bacteriológica da água utilizada para abastecimento público no município de Pelotas - RS - Brasil. *Ciência e Natura*, v. 37, n. 1, p. 79-84, 2015. <https://doi.org/10.5902/2179460X14941>
- PELÁEZ-RODRÍGUEZ, M. *Avaliação da qualidade da água da bacia do alto Jacaré-Guaçu/SP (ribeirão do Feijão e rio do Monjolinho), através de variáveis químicas, físicas e biológicas*. 175f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- PIEDRAS, S.R.N.; BAGER, A.; MORAES, P.R.; ISOLDI, L.A.; FERREIRA, O.G.L.; HEEMANN, C. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água na Barragem Santa Bárbara, Pelotas, RS, Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 494-500, mar-abr. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000200020>
- POMPÊO, M. *Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros*. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2017.
- RAUEN, W.B.; FERRARESI, A.C.; MARANHO, L.; OLIVEIRA, E.; COSTA, R.; ALCANTARA, J.; DZIEDZIC, M. Index-based and compliance assessment of water quality for a Brazilian subtropical reservoir. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 23, n. 5, p. 841-848, 2018. <https://doi.org/10.1590/s1413-4152201820180002>
- SAULINO, H.H.L.; TRIVINHO-STRIXINO, S. Macroinvertebrados aquáticos associados às raízes de Eichhornia azuera (Swarts) Kunth (Pontederiaceae) em uma lagoa marginal no Pantanal, MS. *Biotemas*, v. 27, n. 3, p. 65-72, 2014. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n3p65>
- SERVIÇO AUTÔNOMO DE SANEAMENTO DE PELOTAS (SANEP). *Estações de Tratamento*. Pelotas: SANEP, 2019. Disponível em: <https://portalsanep.com.br/agua/sistema-captacao>. Acesso em: 13 out. 2019.
- SMITH, A.J.; BODE, R.W.; KLEPPEL, G.S. A nutrient biotic index (NBI) for use with benthic macroinvertebrate communities. *Ecological Indicators*, v. 7, n. 2, p. 371-386, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.03.001>
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.
- TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. Múltiplas dimensões da crise hídrica. *Revista USP*, São Paulo, n. 106, p. 21-30, 2015. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036v01i06p21-30>
- VIOLA, Z.G.G.; ALMEIDA, K.C.B.; BARBOSA, F.A.R. Avaliação dos indicadores de qualidade de água para subsidiar propostas de conservação e manejo da bacia do rio Doce em Minas Gerais - Brasil. *Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente*, Aracaju, v. 5, n. 1, p. 51-64, 2016. <https://doi.org/10.17564/2316-3798.2016v5n1p65-80>
- WILHM, J.; DORRIS, T. Biological parameters for water quality criteria. *Biological Science*, v. 18, n. 6, p. 477-481, 1968. <https://doi.org/10.2307/1294272>
- WINCKLER, L.T.; GÜTHS, A.K.; GAYER, P.R. Benthic macroinvertebrates and degradation of phytomass as indicators of ecosystem functions in flooded rice cropping. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 52, n. 4, p. 261-270, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000300006>