



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – NOTURNO

**ESTRUTURA TRÓFICA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM
RESPOSTA À PRECIPITAÇÃO E VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM RESERVATÓRIOS
DO SEMIÁRIDO**

LARYSSA CÂNDIDO DOS SANTOS

CAMPINA GRANDE
NOVEMBRO DE 2022

LARYSSA CÂNDIDO DOS SANTOS

**ESTRUTURA TRÓFICA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM
RESPOSTA À PRECIPITAÇÃO E VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM RESERVATÓRIOS
DO SEMIÁRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação
em Ciências Biológicas da
Universidade Estadual da Paraíba
(UEPB), como requisito para a
obtenção do título de Licenciada em
Ciências Biológicas.

Área de Concentração: Ecologia

Orientadora: Prof. Dr^a. Joseline Molozzi

Coorientadora: Ma. Érica Luana Ferreira Álvaro

CAMPINA GRANDE

NOVEMBRO DE 2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S237e Santos, Laryssa Candido dos.

Estrutura trófica de macroinvertebrados bentônicos em resposta à precipitação e variáveis ambientais em reservatórios do semiárido [manuscrito] / Laryssa Candido dos Santos. - 2022.

25 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Joseline Molozzi, Departamento de Biologia - CCBS."

"Coorientação: Prof. Dr. Érica Luana Ferreira Álvaro, Departamento de Biologia - CCBS."

1. Mudanças climáticas. 2. Fatores abióticos. 3. Grupos funcionais de alimentação. I. Título

21. ed. CDD 551.6

LARYSSA CÂNDIDO DOS SANTOS

**ESTRUTURA TRÓFICA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM
RESPOSTA À PRECIPITAÇÃO E VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM RESERVATÓRIOS
DO SEMIÁRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Área de Concentração: Ecologia

Aprovada em: 17/ 11/ 2022

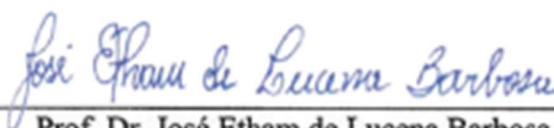
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Joseline Molozzi (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Ma. Franciely Ferreira Paiva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Este trabalho é todo dedicado à minha mãe, pois é graças ao seu esforço que hoje posso concluir o meu curso.

“Não são as espécies mais fortes que sobrevivem, nem as mais inteligentes, e sim as mais suscetíveis a mudanças.”

Charles Darwin

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me capacitado e por me fortalecer todos os dias para que eu possa alcançar os meus objetivos.

Agradeço aos meus pais, Lúcia e Paulo (*in memória*). Recordo com muito carinho quando na infância minha mãe me levava para escola onde trabalhava e minha brincadeira favorita era escrever no quadro e ler os livros infantis da biblioteca e naquele ambiente escolar nasceu o meu amor e admiração pela educação e pela licenciatura. A eles todo meu amor e gratidão!

Aos meus irmãos, Cristiney, Gustavo, Laercio e Rômulo, que sempre cuidaram de mim na infância, quando nossa mãe precisava se ausentar para trabalhar. A minha sobrinha Thalia, a minha cunhada Mônica e meu sobrinho/afilhado Pedro.

Ao meu esposo, amigo e parceiro Henrique, por todo apoio, carinho e atenção, durante toda minha graduação e principalmente nessa reta final do TCC. Obrigada por sempre acreditar em mim e me lembrar que sou capaz. Te amo muito! Aos meus sogros, Ivone e Everaldo e meus cunhados, em especial a Maria, pela ajuda e apoio.

Agradeço aos meus amigos da graduação, a minha querida e sempre “Panela de aço”: Rafaella, Anderson, Tatielle, Joana, Danielly, Cláudio, Judith e Sabrina. Vocês que tornaram a trajetória acadêmica muito mais leve e prazerosa, jamais os esqueci, pois são parte de uma fase muito importante da minha vida. Sempre sentirei saudades da gente, dos nossos dias juntos.

A minha orientadora, Joseline Mollozi, obrigada por todos os ensinamentos, não só profissionais, mas também de vida. És para mim uma inspiração.

A minha coorientadora, Érica Luana. Para sempre serei grata, pela compreensão, cuidado e disponibilidade em ajudar e ensinar. Todas as colocações e sugestões foram fundamentais para a construção desse TCC. És uma excelente pessoa e profissional. Obrigada por tudo!

A todos os integrantes do laboratório de Ecologia de bentos (LEB), por todo o conhecimento compartilhado, em especial a Climélia, Marcos, Duda, Rafa, Érica, Regina e Valeska, pelas tardes de trabalho regadas a café e muitas risadas.

A todos os professores da graduação por todo aprendizado. A dona Mari e Edilma, pelos cafés e boas conversas.

Por fim, agradeço a mim, por nunca ter desistido, mesmo cansada, por ter que conciliar o trabalho com os estudos, me mantive resiliente, para conquistar esse sonho. GRATIDÃO!

RESUMO

As mudanças climáticas e o conseqüente aumento das secas hidrológicas podem alterar a dinâmica das comunidades aquáticas, sobretudo, nas regiões semiáridas onde a precipitação é menor que a evaporação. Tendo em vista esse cenário de seca, é fundamental entender se as variáveis físicas e químicas e o gradiente de precipitação podem determinar a distribuição dos grupos funcionais de alimentação da comunidade de macroinvertebrados bentônicos. Nesse estudo temos como hipótese que os grupos funcionais de alimentação na comunidade de macroinvertebrados bentônicos são determinados pelas variáveis químicas e físicas da água, não apresentando uma resposta direta ao gradiente espacial de precipitação. O estudo foi desenvolvido em 14 reservatórios do Planalto da Borborema, através da amostragem de aproximadamente sete pontos de coletas distribuídos na região litorânea de cada um dos reservatórios. Os organismos foram coletados através de uma draga Ekman-Birge, posteriormente foram triados, identificados até gênero e classificados em grupos funcionais de alimentação: Coletor- catador, coletor-filtrador, raspador, fragmentador e predador. As variáveis ambientais analisadas foram: Fósforo, nitrogênio, carbono, clorofila, temperatura da água, oxigênio dissolvido, PH, turbidez e transparência da água. Verificamos que os fatores abióticos importantes foram: O PT (fósforo total), o NT (nitrogênio total) e o gradiente de precipitação (precipitação anual e do mês de amostragem). O grupo coletor- catador apresentou uma correlação moderada e positiva com o NT ($r=0.67$). O grupo predador apresentou uma correlação positiva e muito forte com o NT ($r=0.97$). O grupo raspador apresentou correlação negativa e fraca com o PT ($r= -0.25$) e NT ($r= -0.34$), já o grupo coletor- filtrador foi correlacionado negativamente e de forma fraca com todas as variáveis testadas. Ressaltamos que não registramos fragmentadores em nosso estudo. Com isso, obtivemos que a precipitação foi um fator determinante, assim como o nitrogênio total e o fósforo total para a distribuição dos grupos funcionais de alimentação nos reservatórios amostrados. Desta forma, o presente trabalho contribui para a compreensão de como os macroinvertebrados bentônicos respondem às alterações ambientais decorrentes dos períodos de seca que se tornam cada vez mais frequentes, frente ao cenário de mudanças climáticas globais.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Fatores abióticos. Grupos funcionais de alimentação.

ABSTRACT

Climate changes and the consequential increase of water droughts can change the dynamics of water communities, especially in semiarid regions, where precipitation happens less than evaporation. With the scenario of drought in mind, it is vital to understand if the physical and chemical variables and the precipitation gradient can determine the distribution of the functional feeding groups of the benthic macroinvertebrates community. In this study, we assumed that the functional feeding groups of the benthic macroinvertebrates community were determined by the chemical and physical variables of the water, not presenting a direct response to the spacial precipitation gradient. The study was developed in 14 reservoirs at the Planalto da Borborema, through the sampling of approximately seven collection points allocated in the coastal region of each reservoir. The organisms were collected via an Ekman-Birge dredger, then sorted, identified to the genus and classified in functional feeding groups: scavenger-collector, filtering-collector, scraper, chipper and predator. The analyzed environmental variables were: Phosphorus, Nitrogen, Carbon, Chlorophyll, water temperature, dissolved Oxygen, pH, turbidity and transparency of the water. We verified that the important abiotic factors were: total phosphorus (PT), total nitrogen (NT) and the precipitation gradient (annual precipitation and precipitation of the sampling month). The scavenger-collector group presented a moderate and positive correlation with the NT ($r=0.67$). The predator group presented a positive and very strong correlation with the NT ($r=0.97$). The scraper group presented a negative and weak correlation with the PT ($r=-0.25$) and NT ($r=-0.34$), whereas the filtering-collector group correlated weakly and negatively with every tested variable. We clarify that we did not register chippers in our study. Thus, we gathered that precipitation as well as total nitrogen and total phosphorus were determining factors to the distribution of functional feeding groups in the sampled reservoirs. Therefore, the present body of work contributes to the comprehension of how benthic macroinvertebrates respond to environmental changes consequential to drought periods that are becoming increasingly more frequent facing the scenario of global climate changes.

Keywords: Climate change. Abiotic factors. Functional feeding groups.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1	Área de estudo.....	11
2.2	Desenho amostral.....	12
2.3	Variáveis químicas e físicas da água	13
2.4	Variáveis biológicas	13
2.4.1	Macroinvertebrados bentônicos	13
2.4.2	Grupos funcionais de alimentação	14
2.4.3	Análise funcional.....	14
2.5	Análise de dados.....	14
3	RESULTADOS.....	16
4	DISCUSSÃO	18
5	CONCLUSÃO.....	19
	REFERÊNCIAS	20
	APÊNDICE A- RESULTADOS DA RDA.....	25

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm sido consideradas um dos fatores que influenciam os processos hidrológicos (ZHAI et al., 2017). Segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC), grande parte das regiões costeiras e terrestres estão ameaçadas por aumentos na temperatura e consequente seca hidrológica (IPCC, 2021). Dados da ONU afirmam que desde 2000, o número e a duração dos eventos de seca aumentaram 29% e que até 2050 poderão afetar mais de 75% da população mundial, as levando a escassez extrema de água (ONU, 2022).

Em um mundo sob ameaças das mudanças climáticas e aumento das secas hidrológicas, é importante compreender como as diferenças na precipitação atuam sobre as comunidades aquáticas (LAKE, 2011). Especialmente em regiões semiáridas onde a precipitação é menor que a evaporação e as temperaturas são altas ao longo da maioria dos meses (BARBOSA et al., 2012). No Brasil, a região semiárida é caracterizada por apresentar irregularidades da precipitação pluviométrica, indicando baixos índices, o que gera a elevação da temperatura e consequente evaporação dos corpos de água, tendo por consequência também a escassez hídrica (TEIXEIRA, 2015; CIRILO, 2010).

Como alternativa para mitigar a escassez hídrica ocasionada pela irregularidade na precipitação em regiões semiáridas, os reservatórios são comumente utilizados na gestão de recursos hídricos para garantir a oferta de água para a população, pois permitem a estocagem de água por longos períodos (GONDIM et al., 2017). Devido à grande utilização dos reservatórios, esses ecossistemas ficam suscetíveis a alterações na qualidade da água por processos antropogênicos, podendo ocasionar a perda de habitat, o que diminui os recursos disponíveis para a sobrevivência das comunidades aquáticas (ESTEVES, 1998; LAKE 2011; BUSS et al., 2002).

Dentre as comunidades aquáticas em reservatórios, estão os macroinvertebrados bentônicos, que são invertebrados que variam entre (2 a 5 mm, e vivem no sedimento desses corpos aquáticos) (MUGNAI et al., 2010). Eles apresentam sua composição taxonômica e funcional dependente de fatores abióticos como: matéria orgânica, tipo de substrato, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, pH, composição da vegetação, profundidade da lâmina d'água e disponibilidade de alimento (TUNDISI, 2008; OLIVEIRA et al., 2007; HEINO, 2017). Esses são organismos importantes pois estão relacionados ao fluxo de energia e a ciclagem de nutrientes dentro dos ecossistemas aquáticos (CALLISTO; ESTEVES, 1995).

Por se tratar de organismos encontrados em diferentes habitats, os macroinvertebrados bentônicos estão inseridos em diferentes grupos funcionais de alimentação, e as mudanças locais nos habitats podem representar um fator determinante para as mudanças na estratégia alimentar destes organismos, a qual está relacionada tanto à adaptação quanto a captura de alimentos disponíveis (TOMANOVA et al., 2006; HAJISAMAE et al., 2003; HAJISAMAE, 2009).

Na literatura científica tem sido visto que a distribuição dos grupos tróficos de alimentação e da composição da comunidade é influenciada por diversos fatores ambientais e climáticos, tais como: mudanças nas cargas de nutrientes, mudanças de cobertura da vegetação, mudanças nas taxas de precipitação e mudanças nas características físicas e químicas da água (FOLEY et al., 2005; LEE et al., 2009). Com o enriquecimento orgânico (como o de Fósforo total, Nitrogênio Total e Clorofila-a) sendo reconhecido na literatura por causar a perda da biodiversidade aquática, dos grupos funcionais de alimentação e mudanças nas estruturas e rede alimentar aquática (HU et al., 2022; MANGADZE et al., 2019; SAULINO et al., 2016; VANDER ZANDEN et al., 2005, XU et al., 2014).

Neste contexto, a avaliação da comunidade de macroinvertebrados com base na estrutura trófica constitui uma ferramenta eficiente, pois permite: i) constatar qual recurso alimentar predomina no sistema; ii) observar como os diferentes grupos de organismos se comportam mediante as variações ambientais, pois, tais mudanças tendem a alterar os recursos alimentares disponíveis; iii) identificar o nível de homogeneização da comunidade (ALLAN; CASTILLO, 2007; CUMMINS et al., 2008; CARVALHO; UIEDA, 2009). No entanto, a importância desse trabalho contrasta com a escassez de estudos que avaliam a relação da estrutura trófica com as variáveis da água e as taxas de precipitação. Ainda que essa análise seja uma ferramenta fundamental para a conservação e manejo dos ecossistemas aquáticos límnicos (JIANG et al., 2011).

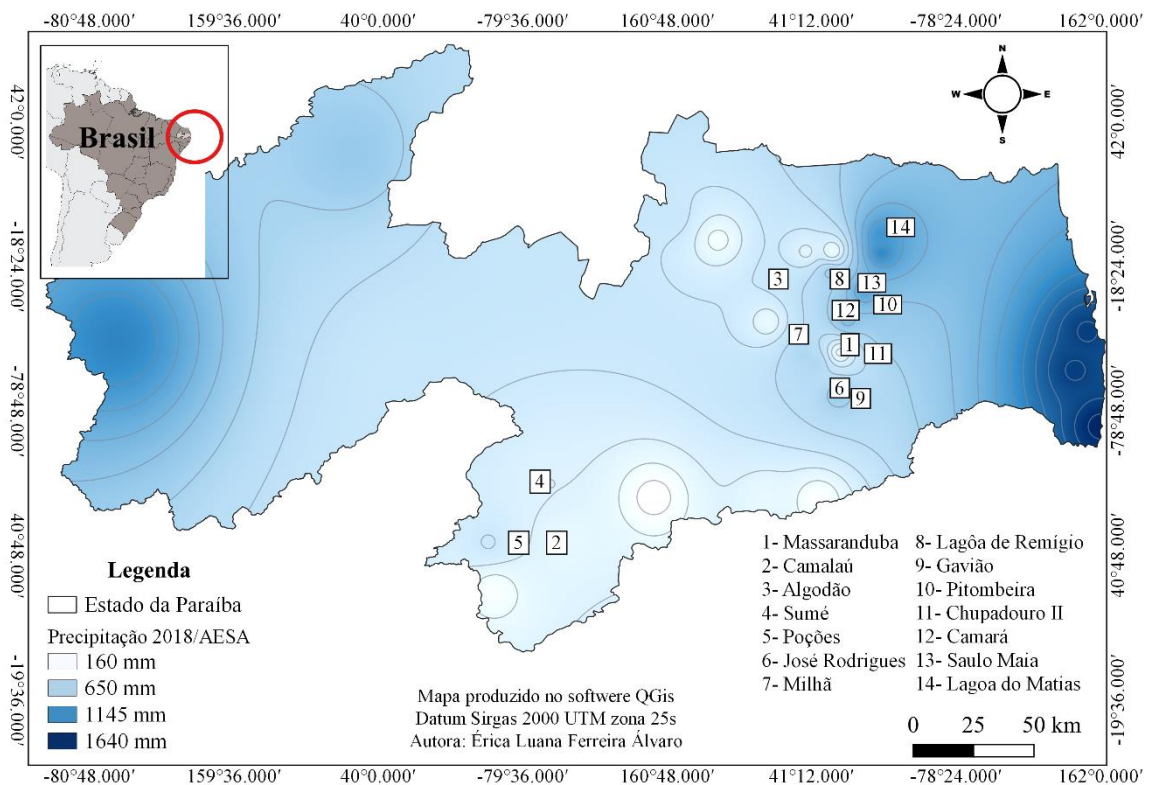
Neste sentido, o objetivo do nosso estudo foi analisar a distribuição dos grupos funcionais de alimentação dos macroinvertebrados bentônicos em relação às variáveis químicas e físicas da água e ao gradiente espacial de precipitação. A fim de responder à seguinte pergunta: As variáveis químicas e físicas da água e o gradiente espacial de precipitação são fatores determinantes para a composição e distribuição dos grupos funcionais de alimentação dos macroinvertebrados em reservatórios do semiárido? A nossa hipótese é que os grupos funcionais de alimentação na comunidade de macroinvertebrados bentônicos são determinados principalmente pelas variáveis químicas e físicas da água, não apresentando uma resposta direta ao gradiente espacial de precipitação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em quatorze reservatórios artificiais, localizados no estado da Paraíba, Brasil. Os reservatórios aqui avaliados estão situados em três bacias hidrográficas, no médio (Camalaú, Sumé e Poções) e no alto curso (Milhã, José Rodrigues e Gavião) da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Norte, na bacia hidrográfica do rio Curimataú (Algodão) e na bacia do rio Mamanguape (Pitimbeira, Chupadouro II, Lagoa do Matias, Massaranduba, Lagoa de Remígio, Camará e Saulo Maia) (Fig.1). Esses reservatórios estão inseridos dentro de um gradiente de precipitação pluviométrica ambiental no semiárido, que engloba as regiões do brejo e sertão paraibano. Esse gradiente vai de 507 até 1300mm/ano valor, segundo dados do Worldclim (FICK; HIJMANS, 2017). Os reservatórios supracitados são utilizados para diversos fins, tais como as atividades agrárias e agropecuárias, bem como para o consumo humano e a dessedentação animal.

Figura 1: Mapa da área de estudo. As cores representam os diferentes níveis de precipitação média anual a partir dos dados do WorldClim 2 (Fick&Hijmans, 2017). Os reservatórios estão enumerados em ordem crescente de precipitação



Fonte: Elaborado pela autora: Érica Luana Ferreira Álvaro, 2022.

Tabela 1. Reservatórios artificiais estudados e suas respectivas coordenadas geográficas, capacidade máxima de armazenamento de água, altitude, temperatura média do ar e precipitação média anual.

Reservatório	Coordenadas geográficas	Capacidade máxima (m ³)	Altitude (m)	Temperatura (°C)	Precipitação (mm/ano)
Algodão	6°54'36.0"W/36°00'17.0"S	145.084	459	22,7	507
Camalaú	7°53'19.0"W/ 36°50'30.0" S	48.107.240	533	23	545
Sumé	7°40'13.0"W 36°54'32.0"S	44.864.100	532	22,9	553
Poções	7°53'40.0"W/ 37°00'33.0"S	29.861.562	568	23	592
Milhã	7°08'54.7"W 35°57'45.1"S	802.684	654	21,7	635
José Rodrigues	7°19'12.2"W/ 35°47'18.7"S	22.332.348	308	24	715
Gavião	7°21'34.2"W/ 35°46'51.8"S	1.450.840	481	23,6	761
Pitombeira	06°59'27.3"W/35°33'54,3"S	2.955.820	510	24,8	1037
Chupadouro II	7°11'32.8"W /35°40'49.7"S	634.620	340	23,5	992
Lagoa do Matias	6°44'7.56"W /35°34'46.3"S	1.239.883	426	23,7	1.102
Massaranduba	7°09'9.35"W/ 35°43'52.3"S	604.390	357	23,3	1.023
Lagôa de Remígio	06°56'15.3"W/35°47'18.8"S	-	468	21,6	1.083
Camará	7°01'59.6"W /35°45'50.1"S	26.581.614	457	22,1	1.240
Saulo Maia	6°55'32.2"W /35°40'31.8"S	9.833.615	420	22,1	1.300

2.2 Desenho amostral

O levantamento de espécimes da macrofauna bentônica foi obtido através da amostragem de aproximadamente sete pontos de coletas distribuídas na região litorânea de cada

um dos quatorze reservatórios. O período de amostragem corresponde ao mês de maio de 2018 na região do brejo e ao mês de julho de 2018 na região do sertão.

2.3 Variáveis químicas e físicas da água

As amostras de água para as análises dos nutrientes (fósforo, nitrogênio e carbono) e da Clorofila-*a*, foram coletadas com o auxílio de garrafas plásticas. A temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH e turbidez foram amostrados *in situ* com a sonda multiparâmetro HORIBA (modelo U-22, Kioto, Japão). A transparência da água foi mensurada com um disco de Secchi. Para a análise da Clorofila-*a* as amostras foram filtradas com o uso de filtros de fibra de vidro Whatman GF/C com 1,5µm de porosidades. As amostras não filtradas foram usadas para determinar as concentrações de fósforo total (PT), carbono orgânico e nitrogênio total (NT). Para estimar as concentrações de Clorofila-*a*, foi utilizado um espectrofotômetro, posteriormente a extração dos pigmentos com etanol a temperatura ambiente, com essa extração ocorrendo no intervalo de tempo 21 horas (JESPERSEN et al., 1987). Para mensurar os nutrientes totais e dissolvidos, as amostras foram congeladas, no entanto, as amostras para mensuração do carbono orgânico dissolvido foram preservadas em ácido fosfórico (H₃PO₄). Para as concentrações de fósforo total, foram analisadas através do método colorimétrico do ácido ascórbico, com esse processo ocorrendo em seguida a oxidação com persulfato de potássio (VALDERRAMA, 1981). Os sólidos suspensos totais foram determinados após a filtração do material particulado, através de filtros de fibra de vidro Whatman GF/C, estes foram previamente secos em mufla e pesados, com o peso dos sólidos totais sendo mensurados pela diferença entre o peso inicial e final (APHA, 2017).

2.4 Variáveis biológicas

2.4.1 Macroinvertebrados bentônicos

As amostras de macroinvertebrados bentônicos foram coletadas através de uma draga Ekman-Birge (225 cm²). As amostras foram fixadas com álcool à 70% e, em seguida, levadas para o laboratório para posterior processamento. No laboratório o material foi lavado com auxílio de peneiras de malha de 1,0 e 0,5 mm e triado com o uso de bandejas iluminadas. Os organismos encontrados foram identificados com o uso de chaves taxonômicas específicas até o nível de gênero (FERNANDÉZ; DOMINUES, 2001; MUNGNAI et al., 2010; TRIVINHO-STRIXINO, 1995).

2.4.2 Grupos funcionais de alimentação

Após a identificação taxonômica, os organismos foram categorizados à nível funcional, baseado em MERRIT & CUMMINS (2005) e; SILVA (2009), como: Coletor- catador que são organismos que se alimentam de pequenos fragmentos de matéria orgânica dispostas no sedimento; Coletor- filtrador, os quais têm como fonte de alimentação partículas que ficam em suspensão na coluna d'água; fragmentador que são animais trituradores da matéria vegetal, como madeiras e folhas submersas; raspador, os quais removem algas presas em superfícies utilizando um aparato bucal especializado e predador, que se alimentam de outros organismos (CHUNG et al., 2012).

2.4.3 Análise funcional

Para melhor descrição das interações entre a estrutura funcional da comunidade e o gradiente ambiental, após identificadas as interações que mais se destacaram, realizamos uma Community Weighted Medium (CWM) onde verificamos a média ponderada de organismos dentro dos grupos funcionais. Para tal utilizamos a matriz funcional (matriz T) e a matriz da comunidade (matriz x), a partir das quais obtivemos a matriz com os dados da CWM, a qual utilizamos nas análises estatísticas posteriores. Para o cálculo do CWM utilizamos a função `functcomp` dentro do pacote `FD`, versão 1.0-12.1 (LALIBERTE, 2014).

2.5 Análise dos dados

A fim de verificar a distribuição dos grupos funcionais de alimentação em relação as características físicas e químicas da água e ao gradiente de precipitação, foi realizada uma Análise de Redundância Independente (RDA). Nessa análise testamos a significância da relação existente entre a matriz funcional (Matriz da CWM) e as variáveis ambientais explicativas não correlacionadas ($r > 0,7$) (Transparência da água, clorofila-a, sólidos totais dissolvidos, fósforo total, nitrogênio total, pH, potencial redox, carbono orgânico dissolvido, precipitação anual, precipitação no mês de amostragem), através da significância do modelo RDA, por meio do teste de permutação estabelecida no pacote *vegan* (OKSANEN et al., 2019). A seleção das variáveis explicativas foi realizada utilizando a função `Ordistep`, onde o nível de significância do F- estatístico, associados a todas as variáveis ambientais são testadas usando

o teste de permutação (1.000 permutações) e selecionadas aquelas com o valor de $p < 0,05$ de significância (BORCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011).

A fim de mostrar a relação entre os grupos funcionais de alimentação e as variáveis que apresentaram uma relação significativa na RDA, realizamos uma matriz de correlação de Pearson. Consideramos de 0,0 até 0,19 uma correlação bem fraca, de 0,2 a 0,39 uma correlação fraca, de 0,4 até 0,69 moderada, de 0,7 até 0,89 uma correlação forte e de 0,9 até 1,0 uma correlação muito forte (MIOT et. al., 2018).

Todas as análises estatísticas foram realizadas através do software R, versão 4.2.1 (CORE TEAM, 2022).

3 RESULTADOS

Neste estudo foram registrados 6.900 macroinvertebrados bentônicos, distribuídos em 34 *taxa*. As características funcionais desses indivíduos foram relacionadas a diferentes descritores ambientais ao longo do período de estudo. De acordo com as análises de RDA, os fatores abióticos importantes foram: O fósforo total, o nitrogênio total e o gradiente de precipitação (precipitação anual e do mês de amostragem). O primeiro eixo da RDA explicando 97,7% da variância total da composição trófica dos macroinvertebrados (GFA) e o segundo eixo 2,3% da variância. Esses parâmetros são importantes fatores determinantes da qualidade da água que influenciam a distribuição de macroinvertebrados nos reservatórios (Fig. 2).

Ao analisarmos as correlações entre os grupos funcionais de alimentação e as variáveis ambientais direcionadoras da composição funcional da comunidade bentônica, vimos que o grupo coletor- catador apresentou uma correlação moderada e positiva com o NT ($r=0,67$). O grupo predador apresentou uma correlação positiva e muito forte com o NT ($r=0,97$). O grupo raspador apresentou correlação negativa e fraca com o PT ($r= -0,25$) e NT ($r= -0,34$), já o grupo coletor- filtrador foi correlacionado negativamente e de forma fraca com todas as variáveis testadas (Fig. 2). É importante mencionar que neste estudo não houve registro de grupo funcional de alimentação fragmentador.

Figura 2. Análise de redundância (RDA) da estrutura dos GFA das comunidades de macroinvertebrados dos 14 reservatórios estudados. As variáveis ambientais significativas foram Nitrogênio total, Fósforo total, precipitação anual e do mês de amostragem.

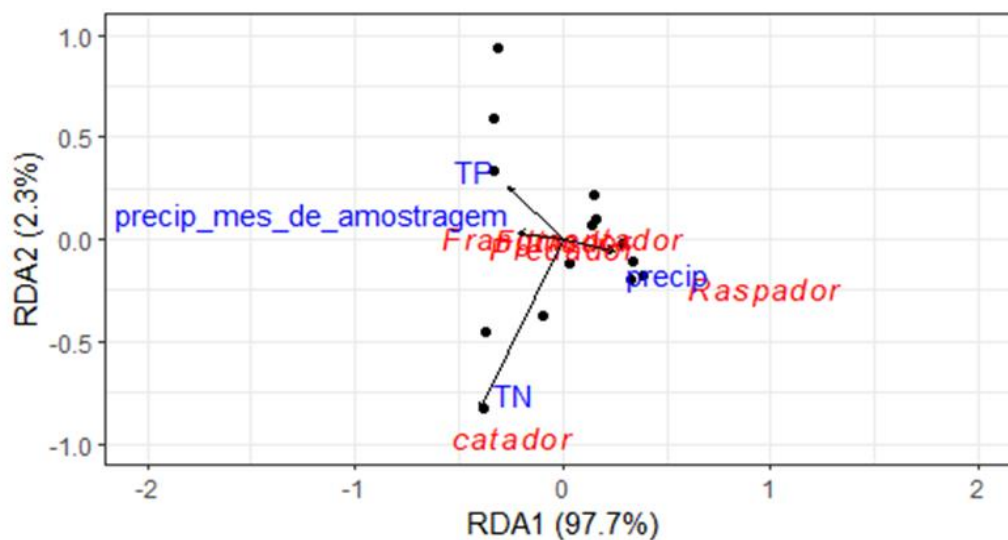
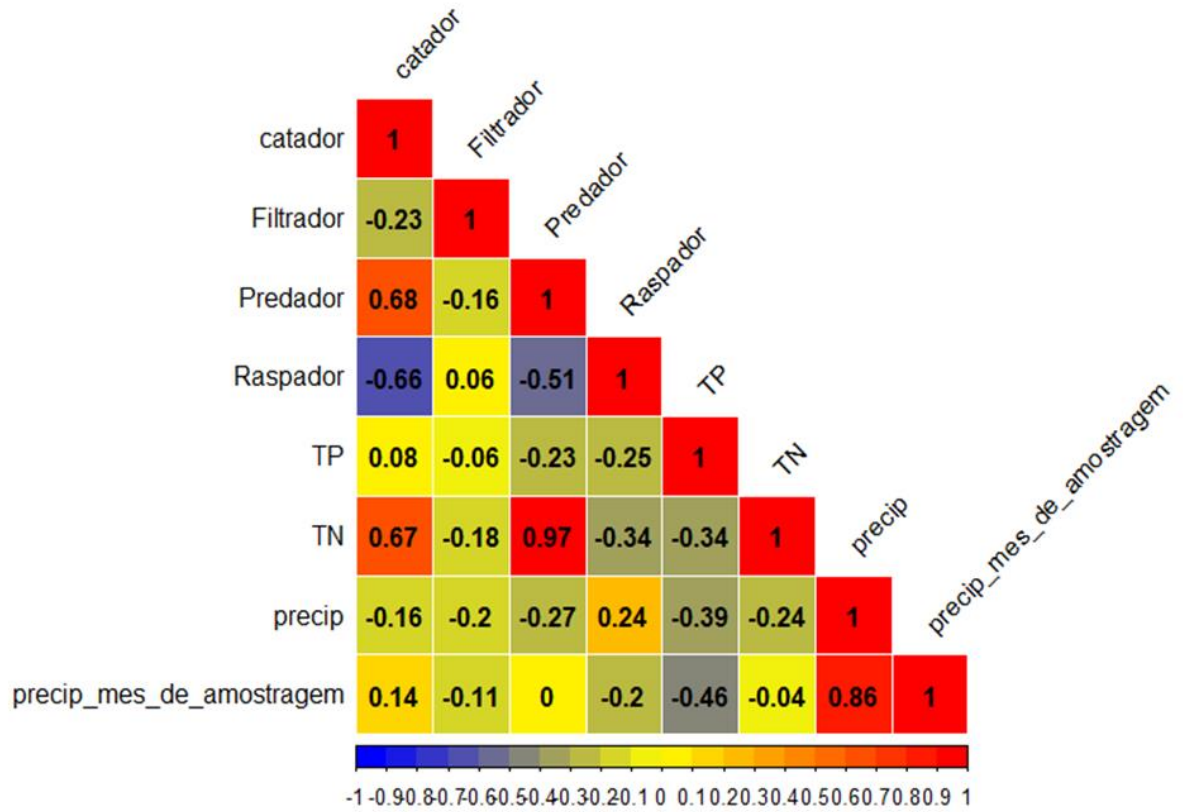


Figura 3. Matriz de correlação entre os grupos funcionais de alimentação e as variáveis ambientais com maior explicação dos dados. As cores representam a intensidade e direção da correlação. As cores mais próximas do vermelho representam uma correlação positiva, enquanto as cores mais próximas do azul representam uma correlação negativa, quanto mais próximo de 1.0 mais forte é essa correlação.



4 DISCUSSÃO

Diferente do esperado, a precipitação foi um fator determinante, assim como o nitrogênio total e o fósforo total para a distribuição dos grupos funcionais de alimentação nos reservatórios amostrados, conforme tabela (Apêndice A).

O grupo funcional de alimentação coletor-catador, foi o grupo dominante em nosso estudo, isso está relacionado ao fato desses organismos se alimentarem de matéria orgânica particulada fina nos sedimentos (CUMMINS et al., 2005) e que habitualmente é encontrada em ecossistemas lacustres de forma abundante (GIMENES et al., 2010). Além disso, os coletores-catador são organismos geralmente tolerantes a altos níveis de poluição, por exemplo os Chironomidae, logo, são favorecidos em ambiente antropizados (GOMES et al., 2018). Em nosso estudo, observamos que a presença desse grupo se relacionou de forma moderada e positiva com o nitrogênio total, que representa a soma das concentrações de nitrato, nitrito, amônio e nitrogênio orgânico nos corpos de água (ANA, 2013). Essa relação de coletores-catadores com NT pode ser explicada pela capacidade de sobrevivência que esses organismos possuem em ambientes com alto teor de nutrientes contendo, principalmente, nitrogênio e fósforo, que são acumulados sobretudo, no período de estiagem e que favorecem uma melhor estabilidade de habitats e recursos alimentares (MEIRELES; FRISCHKORN; ANDRADE, 2007; FUSARI, 2006), o que não ocorre no período de grande volume de água, pois a força das correntezas facilitam a remoção dos organismos do substrato, dificultando a estabilidade e consequentemente a obtenção de recurso alimentar (REZENDE, 2007).

Constatamos uma correlação positiva e muito forte do grupo predador ao nitrogênio total, que se justifica pelo fato dos organismos pertencentes a esse grupo se alimentarem de animais vivos, incluindo outros invertebrados aquáticos, como os Chironomidae, encontrados em alta densidade nesse estudo em locais com altas taxas de nitrogênio total (HAMADA, 2013) e que também tiveram uma correlação favorável com a variável.

Os raspadores apresentaram uma correlação negativa e fraca com PT e NT e positiva com a precipitação anual. O enriquecimento de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, especialmente de nitrogênio e fósforo, pode aumentar a quantidade de macrófitas na coluna d'água (VIDAL et al., 2014). As macrófitas são plantas aquáticas que em elevada quantidade provocam a cobertura da superfície do reservatório, tendo por consequência a redução da entrada da incidência de raios solares nos ecossistemas aquáticos (VIDAL et al., 2014). Os raspadores necessitam de condições apropriadas de luminosidade, onde ocorre o crescimento

adequado do perifiton, o principal alimento desses organismos. Assim, ambientes que impedem a incidência de luminosidade, afetam a abundância de raspadores (OLIVEIRA et al., 2007).

Os filtradores apresentaram uma correlação negativa e fraca com todas as variáveis supracitadas. Em nosso estudo foram encontrados poucos táxons pertencentes a esse grupo, o que pode indicar que a matéria orgânica particulada fina não foi processada de forma constante no ecossistema (MARINELLI et al., 2001). Possivelmente a ausência de fragmentadores no ambiente pode ter influenciado, pois são organismos que através da sua atividade transformam a matéria particulada grossa, em matéria particulada fina (ALLAN et al., 2007).

Vale ressaltar que não foram encontrados indivíduos do GFA fragmentador em nosso estudo, corroborando com estudos realizados com GFA de alimentação no semiárido, onde foi verificado a ausência desses indivíduos (JÚNIOR et al., 2018; AZÊVEDO et al., 2019). O que pode ser justificado pela menor quantidade de fragmentadores encontrados nas regiões tropicais, podendo indicar que a decomposição nessas regiões é realizada por microrganismos (BOYERO et al., 2011). Além disso, a ausência de indivíduos desse grupo também tem sido relacionada a uma baixa qualidade foliar, em comparação com as regiões temperadas (GRAÇA; CRESSA, 2010).

5 CONCLUSÃO

O presente estudo confirmou que as alterações das condições físicas e químicas da água influenciam na estrutura dos grupos funcionais de alimentação da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, contudo, o gradiente de precipitação foi um fator determinante dessa distribuição. Portanto, a abordagem funcional pode ser uma ferramenta promissora para avaliar o estado da qualidade da água e as condições ecológicas de vários corpos d'água, pois reflete as mudanças na precipitação e nas variáveis relacionadas ao enriquecimento orgânico (nitrogênio total e fósforo total) Além disso, chama a atenção para a necessidade de que mais trabalhos sejam realizados para a total compreensão de como GFA respondem aos eventos de seca que se tornam cada vez mais frequentes frente ao cenário de mudanças climáticas globais.

REFERENCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2013. **Variáveis e parâmetros de qualidade de água em rios e reservatórios**. Disponível em: <https://capacitacao2.ana.gov.br>. Acesso em: 22 Out 2022.
- ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. **Stream ecology: structure and function of running waters**. 2 ed. Dordrecht: Springer, 444p. 2007.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. (American Water Works Association and Water Environmental Federation, 2017).
- AZEVEDO, D.J. NETO, J. AZEVEDO, E. GOMES, W. Molozzi, J. FEIO, M. **Dipteran assemblages as functional indicators of extreme droughts**. *Jornal of Arid Environments*. V. 164, p.12-22, may. 2019.
- BARBOSA, J. FIGUEREDO, E. BRASIL, J. CORDEIRO, R. CRISPIM, M. SILVA, M. **Sistemas aquáticos em semi-árido Brasil: limnologia gestão**. 2012.
- BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. Springer Science & Business Media, 2011. 319 p.
- BOYERO, I. PEARSON, R. DUDGEON, D. **Global distribution of a key trophic guild contrasts with common latitudinal diversity patterns**.
- CALLISTO, M., ESTEVES, F.A. 1998. **Categorização funcional dos macroinvertebrados bentônicos em quatro ecossistemas lóticos sob influência das atividades de uma mineração de bauxita na Amazônia Central (Brasil)**. *A ecologia Brasiliensis*, v. 5, pp.223-234.
- CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. **Relações da atividade agropecuária com parâmetros físico-químicos da água**. *Química Nova*, v. 23, n.5, 2000.
- CARVALHO, M.E., UIEDA, V, S. 2009. **Diet of invertebrates sampled in leafbags incubated in a tropical headwater stream**. *Zoologia (Curitiba, Impr.)* vol.26 no. 4 Curitiba Dec. 2009.
- CIRILO, J. A et al. **A questão da água no semiárido brasileiro**. In: Bicudo. C.E. de. M. et al. (org). *Águas do Brasil análises estatísticas*. 1 ed. São Paulo: Instituto de Botânica, 1, 81-91, 2010.
- CHUNG, N. BAE, M. LI, F. KWON, Y. KWON, T. KIM, J. PARQUE, Y. 2012. **Habitat characteristics and trophic structure of macroinvertebrates in a headwater stream forestry**. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. V.15. P. 495-505.
- CUMMINS, K.W., MERRIT R., ANDRADE P.C.N. 2005. **The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil**. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*.
- CUMMINS, K.W.; MERRITT, R.W.; BERG, M, B. **Ecology and distribution of aquatic insects**, In; Merritt, R. W.; CUMMINS, K. & Berg, M. B. eds. **An introduction to the aquatic insects of North America**. Dordrecht, Kendall/ Hunt Publishing Company. p. 105- 122, 2008.

ESTEVEZ, F. A.; Fundamentos de Limnologia. 2ª edição, Rio de Janeiro, Interciência, 1998, p. 89.

FERNÁNDEZ, H.R.; DOMÍNGUEZ, E.; **Guia para la determinación de los artrópodos bentônicos**. Sud americanos. Tucumán. UNT, 282p. (ed.),2001.

FICK, S. E. & HIJMANS, R. J. WorldClim 2: **New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas**. *Int. J. Climatol.* n/a-n/a (2017).

FOLEY, J. A.R. et al. **Global consequences of land use**. *Science* 309:570–574, 2005.

FUSARI, L. M. **Estudos das comunidades de macroinvertebrados bentônicos das Represas do Monjolinho e do Fazzari no campus da UFSCar**, município de São Carlos, SP. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2006.

GIMENES et al., 2010. **Decomposição de matéria orgânica alóctone e autóctone em ecossistemas aquáticos**.

GRAÇA. MANUEL A. S. et al 2010. **Leaf Quality of Some Tropical and Temperate Tree Species as Food Resource for Stream Shredders**.

GOMES, W. I. A. et al. **Functional attributes of Chironomidae for detecting anthropogenic impacts on reservoirs: A biomonitoring approach**. *Ecological Indicators*. v.93, p.404- 410, 2018.

HAJISAMAE, S.; CHOU, L. M. & IBRAHIM, S. **Feeding habitats and trophic organization of the fish Community in shallow waters of an impacted tropical habitat**. *Est. Cos. And. She. Sci.* 58:89- 98. doi: 10. 1016/S0272-7714(03)00062-3, 2003.

HAJISAMAE, S. **Trophic ecology of bottom fishes assemblage along coastal areas of Thailand**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 82: 503-514. doi: 10.1016/j.ecss.02.10, 2009.

IPCC. **Climate Change 2021: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandre. (Cambridge University Press, 2021).

JESPERSEN, A. M. & CHRISTOFFERSEN, K. **Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent**. *Arch. Fur Hydrobiol.* v.109, 445– 454 (1987).

JIANG, X., XIONG, J., XIE, Z., CHEN, Y. 2011 . **Longitudinal patterns of macroinvertebrate functional feeding groups in a Chinese river system: A test for river continuum concept (RCC)**. *Quaternary International* 244 (289 e 295).

- JUNIOR, M. M. C. et al. 2018. **Semiarid leaf species and colonization by aquatic invertebrates: Leaf traits of Brazilian semiarid species as regulatory factors for associated aquatic invertebrate.** *Journal of Limnology*, 2018.
- LAKE, P. S. **Drought and Aquatic Ecosystems: Effects and Responses.** [s.l.] John Wiley & Sons, 2011.
- LEE, S.W., HWANG, S.J., LEE, S.B., HWANG, H.S., SUNG, H.C. **Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics.** *Lands. Urban Plan.* 92, 80–89, 2009.
- LEPS J, SMILAUER P. 2003. **Análise multivariada de dados ecológicos usando CANOCO.** Cambridge (Reino Unido): Cambridge University Press.
- LOPES, F. W. de A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas.** *Revistas Geografias*, v. 6, n. 2, p. 134-147, 2010. (LOPES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2010).
- MANGADZE, T. et al., 2019. **Macroinvertebrate functional feeding group alterations in response to habitat degradation of headwater Austral streams.**
- MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E. C. **Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, Bacia do Acaraú, no Semi-árido cearense.** *Ciência Agrônômica*, v.38, n.1, 2007.
- MIRANDA, ROCHA; F.; MARTINS-SILVA, MJ. 2006. **Primeiro registro do caracol invasivo *Melanoides tuberculatus* (Gastropoda: Prosobranchia: Thiaridae) na bacia do rio Paranã, GO, Brasil.**
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F.; **Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro.** Techinical Books Editora, 2010.
- MIOT, H. A. **Correlation analysis in clinical and experimental studies.** *J Vasc Bras.* 17(4):275-279. Out.-Dez. 2018.
- MYKRA, H.; HEINO, J.; **Decreased habitat specialization in macroinvertebrate assemblages in anthropogenically disturbed streams.** *Ecological complexity.* v.31, 2017, p.181-188.
- OLIVEIRA, A. L. H., NESSIMIAN, J. L. 2007. **Relações tróficas de insetos aquáticos em riachos com diferentes altitudes na Serra da Bocaina.** *Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil*, Caxambu – MG.
- ONU RELATÓRIO DA NAÇÕES UNIDAS, 2022. **SECA EM NÚMEROS 2022 - Restauração para prontidão e resiliência.** Disponível em: <https://www.unccd.int.com.br>. Acesso em 20 Out 2022.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2012). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

- REZENDE, C. F. **Community structure of macroinvertebrates associated with leaf litter from riffles and pools from Central Amazon streams.** *Biota Neotropica*, Campinas, v. 7, n. 2, p. 300- 3005, 2007.
- SAULINO et al., 2016. **The effect of small reservoirs on chironomid diversity and trait composition in Savanna streams: evidence for Serial Discontinuity Concept** *Hydrobiologia*, 793 (2016), pp. 109-119.
- SILVA, F. L., PAULETO, G. M., BISCALQUINI, J.L.T., RUIZ, S. S. 2009. **Categorização funcional trófica das comunidades de macroinvertebrados de dois reservatórios na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, Brasil.** *Acta Scientiarum. Biological Sciences Maringá*, v. 31, n. 1, p. 73-78.
- STATZNER B; LA BÊCHE, 2010. **As características biológicas dos invertebrados podem resolver os efeitos de múltiplos estressores nos ecossistemas de água corrente?** *Freshw. Biol.*, 55 (2010), págs. 80 – 119.
- TRIVINHO-STRIXINO, S., STRIXINO, G., 1995. **Larvas de Chironomidae (Diptera) do Estado de São Paulo: Guia de identificação e diagnose dos gêneros.**
- TUNDISI, J.G. **Recursos hídricos no futuro: Problemas e soluções.** *Estudos avançados*. v. 22. P. 7- 16, 2008.
- VALDERRAMA, J. **The simultaneous analysis of total nitrogen Chemistry, and phosphorus in natural waters.** *Marine*. 109–122 (1981).
- VIDAL, F.T; NETO, C J. **Caracterização limnológica e influência da precipitação em reservatório de abastecimento público da região metropolitana de Fortaleza/CE.** V.10, n. 2. 2014.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3.ed. Belo Horizonte: UFMG/Departamento de Engenharia Sanitária, 2005. v.1, 452p.
- WHATELY, M.; CAMPANILI, M. **O século da escassez: Uma nova cultura de cuidado com a Água: Impasses e Desafios.** São Paulo: 2016.
- ZHAI E TAO, 2017. R. ZHAI. F. TAO. **Contribuições das mudanças climáticas e atividades humanas para a mudança de escoamento em sete bacias típicas em toda a China.** *Sci. Ambiente Total*. 605–606 (2017), pp. 219 – 229.

APÊNDICE A – RESULTADOS DA RDA

Resultados da tabela da RDA, onde $p < 0,5$ foi significativo.

VARIÁVEIS	DF	AIC	F	Pr (>F)
TN	1	180.46	0.1456	0.825
TOC	1	180.52	0.1587	0.705
TSS	1	181.76	0.4511	0.620
Condutividade	1	885.48	0.3624	0.560
Secch	1	182.82	0.7245	0.485
Precipitação- mês	1	205.43	15.7283	0.020
pH	1	180.21	0.0898	0.880
Precipitação	1	199.36	9.1348	0.040
TP	1	193.643	5.0622	0.105
Clorofila a	1	179.81	0.0023	1.000