



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS I**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO**  
**MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO**

**LUANA SILVEIRA ARAÚJO**

**REDUNDÂNCIA FUNCIONAL E VULNERABILIDADE FUNCIONAL DE  
MACROINVERTEBRADOS AO LONGO DO GRADIENTE DE PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

**CAMPINA GRANDE**

**2022**

LUANA SILVEIRA ARAÚJO

**REDUNDÂNCIA FUNCIONAL E VULNERABILIDADE FUNCIONAL DE  
MACROINVERTEBRADOS AO LONGO DO GRADIENTE DE PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito final à obtenção do título de mestre em Ecologia e Conservação.

**Área de concentração:** Processos Ecológicos e Funcionamento em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos.

**Orientador(a):** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Joseline Molozzi  
**Co-orientador(a):** Wilma Izabelly Ananias Gomes

CAMPINA GRANDE

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.

A658r Araújo, Luana Silveira.

Redundância funcional e vulnerabilidade funcional de macroinvertebrados ao longo do gradiente de precipitação pluviométrica em reservatórios do semiárido [manuscrito] / Luana Silveira Araújo. - 2022.

35 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2022.

"Orientação : Profa. Dra. Joseline Molozzi, Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."

"Coorientação: Profa. Dra. Wilma Izabelly Ananias Gomes, INSA - Instituto Nacional do Semiárido"

1. Funcionamento ecossistêmico. 2. Ecologia funcional. 3. Escassez hídrica. 4. Ecossistemas. 5. Ecologia. I. Título

21. ed. CDD 577

LUANA SILVEIRA ARAÚJO

**REDUNDÂNCIA FUNCIONAL E VULNERABILIDADE FUNCIONAL DE  
MACROINVERTEBRADOS AO LONGO DO GRADIENTE DE PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito final à obtenção do título de mestre em Ecologia e Conservação.

**Área de concentração:** Processos Ecológicos e Funcionamento em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos.

Aprovada em: 18/02/2022.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Joseline Molozzi (Orientadora)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Dr<sup>ª</sup> Wilma Izabelly Ananias Gomes

Instituto Nacional do Semiárido (INSA)



---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Juliana dos Santos Severiano (Membro interno)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Silvia Vendruscolo Milesi (Membro Externo)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI)

*In memorial* de Ana de Jesus da Silveira,  
Minha tia e segunda mãe  
a quem eu amo muito e sinto falta...DEDICO

## AGRADECIMENTOS

*Romanos 8, 18: “Estou absolutamente convencido de que os nossos sofrimentos do presente não podem ser comparados com a glória que em nós será revelada”*

Primeiramente, agradeço ao meu bom e fiel Deus, que ESTÁ e ESTEVE presente em toda minha vida pessoal e profissional. Ele, cercado de seu amor, cuidado e providência, me manteve de pé em momentos mais difíceis deste percurso do mestrado, lembrando-me sempre de quem sou e o porquê estou aqui neste mundo. A Ele tenho toda minha gratidão, louvor, honra e glória. Obrigada Pai por ser meu amigo e companheiro e por renovar em mim tuas promessas, mesmo quando não havia esperanças em meu coração. Graças, Pai! Agradeço a minha família (Mãe e irmão), onde cada um de sua maneira, apoiaram-me e acreditaram no meu potencial na minha carreira profissional. Aqui, estendo meu agradecimento ao meu namorado, Murilo Oliveira, que se fez “Muro e Âncora” para me apoiar e proteger de todos os conflitos que vivi dentro deste período. Obrigada por estar comigo em todos os momentos.

Tenho muita gratidão a todos os meus amigos, seja eles adquiridos nos tempos áureos do ensino médio ou na vida acadêmica, vocês são parte de mim e amo a todos. Em especial, à Raissa Milane, minha melhor e grande amiga, nossa distância física é grande, mas sempre estamos uma no coração da outra, te amo muito peixe e espero que Deus perdure nossa amizade por longos anos. Agradeço a Antônio Marques por ser meu amigo e parceiro, mantendo boas risadas com nossas brigas falsas (Risos), amo muito você, mas só porque Jesus manda amar a todos. À Joelma Xavier, parceirinha de sempre, minha dupla desde do início da jornada acadêmica, muito obrigada minha amiga, você é muito especial para mim e sempre terá um lugar em meu coração, amo muito você! Agradeço demais a Help, vulgo Socorro Lacerda, eita amada... rojão hein! O que foi isso que passamos? Mas chegamos aqui, mesmo mazelas e com internação garantida no hospício. Por último, agradeço a todos os meus colegas de mestrado, pela companhia e experiências compartilhadas durante este percurso, em especial, meu caro amigo Igor Eloi, obrigada por me ajudar em minhas dúvidas estatísticas, por me fazer rir em momentos inapropriados e atualizar minha playlist com músicas do Shaman. Muito obrigado e desejo muito sucesso na tua vida pessoal e profissional, e que finalmente você tenha a oportunidade de desfrutar o convite de ser vocalista do Shaman. Muito rock and roll para você!

Também agradeço demais a todos meus companheiros do Laboratório de Bentos e a minha orientadora Joseline Molozzi e co-orientadora, Wilma Izabelly pela orientação.

## RESUMO

A acentuada perda de diversidade biológica nos ecossistemas tem levantado discussões sobre seu impacto no funcionamento dos sistemas ecológicos. Pois a homogeneização de espécies resulta em perda de funções que influenciam nos processos em que estão envolvidas. Entretanto, espera-se que a redundância funcional, ou sejam espécies que possuem atributos funcionais semelhantes, garanta a permanência das funções dentro dos sistemas ecológicos. O estudo foi realizado em oito reservatórios inseridos em um gradiente de precipitação pluviométrica estabelecido a partir de informações históricas de bancos de dados do *Wordclim 2* e da AESA. Com objetivo avaliar a redundância funcional e vulnerabilidade funcional de macroinvertebrados ao longo do gradiente ambiental de precipitação pluviométrica. Testando a hipótese de que a redução da precipitação pluviométrica ocasionará no aumento da redundância funcional e da vulnerabilidade funcional dos macroinvertebrados. As coletas foram realizadas em maio de 2018, ao fim do período chuvoso, amostrando alíquotas da comunidade de macroinvertebrados nos sete pontos na região litorânea de cada reservatório. Foi utilizada a precipitação pluviométrica do mês de coleta, bem como a matriz de abundância dos macroinvertebrados para as análises estatísticas. Escolheu-se sete atributos funcionais atrelados à escassez hídrica: Tamanho do Corpo, Hábito, Estratégia alimentar, Hemoglobina, Dispersão, Reprodução e Estágio larval. Calculou-se os índices funcionais: Redundância Funcional (FR), Redundância Funcional Excessiva (FOR), Vulnerabilidade Funcional (FV). Os atributos funcionais da comunidade permitiam a combinação de 128 Entidades Funcionais (EFs), porém os 2.689 organismos estiveram distribuídos em apenas 15 entidades funcionais, independente da riqueza funcional, com a maior predominância de EFs representando 25% do pool geral dos reservatórios. Observamos altos valores de redundância funcional e vulnerabilidade funcional em todos os reservatórios, onde cerca de 60% das EFs possuíam apenas um *taxa*. Entretanto o gradiente ambiental não exerceu influência significativa sobre os índices funcionais analisados. Porém foi evidenciado a fragilidade na diversidade de atributos apresentados pela comunidade de macroinvertebrados de reservatórios do semiárido. Reforçando a importância de uma interpretação clara e cautelosa sobre o papel da redundância funcional no funcionamento ecossistêmico.

**Palavras-Chave:** Funcionamento Ecossistêmico. Ecologia Funcional. Escassez Hídrica. Ecossistemas Vulneráveis.

## ABSTRACT

The marked loss of biological diversity in ecosystems has raised discussions about its impact on the functioning of ecological systems. Because the homogenization of species results in loss of functions that influence the processes in which they are involved. However, it is expected that functional redundancy, ie species that have similar functional attributes, guarantees the permanence of functions within ecological systems. The study was carried out in eight reservoirs inserted in a rainfall gradient established from historical information from Wordclim 2 and AESA databases. With the objective of evaluating the functional redundancy and functional vulnerability of macroinvertebrates along the environmental gradient of rainfall. Testing the hypothesis that the reduction in rainfall will increase the functional redundancy and functional vulnerability of macroinvertebrates. The collections were carried out in May 2018, at the end of the rainy season, sampling aliquots of the macroinvertebrate community at seven points in the coastal region of each reservoir. The rainfall of the month of collection was used, as well as the macroinvertebrate abundance matrix for statistical analyses. Seven functional attributes linked to water scarcity were chosen: Body Size, Habit, Feeding Strategy, Hemoglobin, Dispersion, Reproduction and Larval Stage. Functional indices were calculated: Functional Redundancy (FR), Excessive Functional Redundancy (FOR), Functional Vulnerability (FV). The functional attributes of the community allowed the combination of 128 Functional Entities (FEs), however the 2,689 organisms were distributed in only 15 functional entities, regardless of the functional richness, with the highest predominance of FEs representing 25% of the general pool of reservoirs. We observed high values of functional redundancy and functional vulnerability in all reservoirs, where about 60% of the EFs had only one taxa. However, the environmental gradient did not exert a significant influence on the functional indices analyzed. However, the fragility in the diversity of attributes presented by the macroinvertebrate community of semi-arid reservoirs was evidenced. Reinforcing the importance of a clear and cautious interpretation of the role of functional redundancy in ecosystem functioning.

Keywords: Ecosystem Functioning. Functional Ecology. Water shortage. Vulnerable Ecosystems.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>HIPÓTESE DA PESQUISA.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>ARTIGO - REDUNDÂNCIA FUNCIONAL E VULNERABILIDADE FUNCIONAL DE MACROINVERTEBRADOS AO LONGO DO GRADIENTE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO... ..</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>18</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>18</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Comunidade de macroinvertebrados.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Atributos funcionais.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Índices Funcionais e análises estatísticas.....</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>23</b>
<b>4.4</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>
	<b>APÊNDICE A - MATERIAL SUPLEMENTAR.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A diversidade biológica corresponde a variabilidade de organismos existente nos diferentes ecossistemas, relacionando-se com processos e funções nos mais variados níveis de organização, garantindo a estabilidade dos sistemas ecológicos (GREENOP et al., 2021). Porém, com o advento das mudanças climáticas que geram a perda de diversidade de espécies, houve o aumento de discussões dentro da comunidade científica com enfoque na importância de compreender como as espécies interagem e estabelecem relações com o ambiente em que estão inseridas (TOLESSA; SENBETA; KIDANE, 2017; CYBULSKI et al., 2020; INAGUE; ZWIENER; MARQUES, 2021).

Com o avanço dessas discussões, diversas teorias e metodologias foram desenvolvidas a fim de buscar inferências sobre o impacto da perda de espécies no funcionamento ecossistêmico. Entre elas, a ecologia funcional ganhou grande destaque dentro das abordagens utilizadas na ecologia e conservação (WEISKOPF et al., 2020). A ecologia funcional é a ciência que descreve a amplitude dos atributos funcionais em diferentes ecossistemas, exercendo melhor predição sobre serviços ecossistêmicos do que abordagens taxonômicas. Esses atributos funcionais correspondem a características fenotípicas, genéticas, fisiológicas e comportamentais das espécies, selecionadas de acordo com a exposição, sensibilidade e sua capacidade de adaptação às mudanças do ambiente (WEISKOPF et al., 2020). Que revela a aptidão individual apresentada por cada organismo, influenciando diretamente nos processos em que estas espécies estão envolvidas dentro do ecossistema (LAM-GORDILLO; BARING; DITTMANN, 2020). Auxilia também na predição de quais estratégias ecológicas colaboram com a permanência da comunidade (OTTAVIANI et al., 2020). A ecologia funcional aplica os atributos funcionais em níveis distintos de organização de comunidade e ecossistemas (SHIPLEY et al., 2016), buscando compreender como a variação dos atributos é atrelada a estruturas de comunidade e funcionamento ecossistêmico distintas, extremamente importante para estudos com viés conservacionista (VIOLLE et al., 2007).

A variabilidade dos atributos funcionais deve-se ao fato dos organismos responderem de formas diferentes ao nível do distúrbio ou mudança ambiental a qual foram submetidas (BEIROZ et al., 2018). Por isso a escolha dos atributos funcionais a serem utilizados deve ser criteriosa, porque atributos distintos podem interagir com diversos recursos e condições, possuindo efeitos diversos dentro dos sistemas ecológicos. Entretanto, é importante atrelar a abordagem funcional a outras vertentes como a filogenia, genética, ecologia molecular, biogeografia, evolução, para melhor compreensão da dinâmica dos ecossistemas (SACCÒ et al., 2019).

Com isso, várias metodologias foram desenvolvidas para utilização dos atributos funcionais. Uma das comumente utilizadas dentro da ecologia é o estabelecimento de grupos funcionais para mensurar a riqueza funcional. Porém, devido a subjetividade presente na formação destes grupos funcionais, apresentam grande tendência a serem classificados erroneamente dentro dos métodos estatísticos, tornando-os problemáticos (FONSECA; GANADE, 2001). Com isso, pensou-se na possibilidade de utilizar informações sobre o nicho ecológico das espécies como medida de riqueza funcional (MASON et al., 2005). Pois os nichos ecológicos explanam sobre a distribuição das espécies nos ambientes, pautando-se nas preferências de habitat, recursos alimentares e condições abióticas de cada espécie (GRINNELL, 1917). Assim, Mason et al (2005) observaram que a complementariedade de nicho é um dos principais mecanismos que apontam para o funcionamento ecossistêmico, pois correspondem informa sobre os nichos compartilhados pelas espécies, permitindo a coexistência. Partindo da ideia de que maior complementariedade de nicho garante o consumo de recursos disponíveis nos habitats, resultando em maior produtividade e resistência contra invasores (PETCHEY, 2003). Com isso propôs que a riqueza funcional deveria ser mensurada através da obtenção do volume do casco convexo, uma estrutura tridimensional em que se observa o agrupamento das espécies de acordo com seus atributos funcionais.

Nesta estrutura, cada atributo funcional corresponde a um eixo do vértice, formando uma estrutura hexagonal onde as espécies são distribuídas, nomeada de espaço funcional (MASON et al., 2005). Desse modo, é possível mensurar a quantidade de espaço do nicho ocupado pelas espécies, relacionando o quão espalhadas ou aglomeradas elas estão dentro do espaço de nicho disponível. Valores reduzidos de riqueza funcional apontam que há recursos disponíveis que não estão sendo utilizados pelas espécies presentes (PETCHEY, 2003). Contudo, se elas estiverem inseridas em ambientes com condições ambientais desfavoráveis, indica ausência das espécies que aproveitariam estes recursos disponíveis, por não possuírem tolerância a variação ambiental (TILMAN, 1996). Além disso, esta metodologia estabelece um intervalo de valor padrão para o volume do espaço funcional, para assim ser possível a comparação entre as espécies.

Ademais a isso, Villegger et al (2008) propôs a utilização de seus índices funcionais atrelados a metodologia de Mason et al (2015), calculando-os dentro do espaço funcional. Esta abordagem é excelente para avaliar como a filtragem ambiental interfere nos nichos ocupados pelas espécies. Porém, com o objetivo de melhor compreender o impacto da perda de funções decorrente a interação com fatores ambientais, Mouillot et al (2014) lança a proposta do estabelecimento de entidades funcionais dentro do espaço funcional. Entidades funcionais

(EFs) são combinações únicas de atributos funcionais de uma comunidade. Consistindo em uma medida de agrupamento excelente para estudos que possuem dados com alta redundância de características (MOUILLOT et al, 2014). Não o bastante, também desenvolveu três novos índices funcionais: Redundância Funcional, Redundância Funcional Excessiva e Vulnerabilidade Funcional. Com o objetivo de responder a seguinte indagação: Será que uma proporção menor de espécies é suficiente para desempenhar as funções chaves dentro de um ecossistema? Concluindo que a Redundância Funcional e Vulnerabilidade Funcional são afetadas pelo número de espécies, números de FEs e distribuição das espécies nas FEs (MOUILLOT et al, 2014).

Essa metodologia tem sido atrelada a estudos que analisam o impacto das variações ambientais sobre a perda de funções, e conseqüentemente, o quanto elas afetam a dinâmica ecossistêmica. Um exemplo disso é o desenvolvido com a comunidade de peixes do Golfo da Califórnia considerado hotspot de diversidade, mas que sofre pela ação da pesca e de fatores climáticos (OLIVIER et al., 2018). Foi observado que a diversidade de atributos funcionais está relacionado a abundância de espécies, onde a redução da dessa diversidade gera o aumento brusco da redundância funcional que não garantirá a permanência das funções nestes ambientes ao longo do tempo, devido aos altos valores de vulnerabilidade funcional apresentados pela comunidade residente. O mesmo foi observado quando analisou-se a perda de espécies endêmicas de peixes em ecossistemas de água doce (CHUA; TAN; YEO, 2019). A diminuição de espécies conduziu a altos valores de redundância funcional, que culminaram no aumento da vulnerabilidade funcional, ocorrendo a perda drástica de funções dentro dos ecossistemas, que atingem diretamente o funcionamento dos ambientes aquáticos.

Trabalhos com a comunidade de macroinvertebrados bentônicos elucidam a importância das condições ambientais sobre a distribuição e diversidade funcional desses organismos, pois a abundância desses organismos é principalmente afetada pelas variáveis locais do habitat (FERREIRA et al., 2021). Distúrbios antrópicos também promovem a redução da variabilidade de atributos funcionais de macroinvertebrados, pois diminuem a disponibilidade de nicho que favorecem a sobrevivência da comunidade (GOMES et al., 2018). Outro fator ambiental que pode influenciar na diversidade funcional de macroinvertebrados é a precipitação pluviométrica, valores reduzidos de precipitação geram a homogeneização das espécies, resultando no aumento da redundância funcional (JOVEM-AZEVÊDO et al., 2019). Contudo os estudos desenvolvidos principalmente no Brasil, tem como foco principal grupos funcionais alimentares, carecendo de mais informações sobre outros aspectos funcionais dos macroinvertebrados.

Entretanto, há escassez de trabalhos que avaliem o papel da redundância funcional na vulnerabilidade funcional dos ecossistemas ecológicos, principalmente em sistemas lacustres. Diante disto, reforça-se a notoriedade de se explorar como o ambiente pode influenciar nos atributos funcionais das comunidades biológicas, visando a conservação dos sistemas ecológicos (FU et al., 2018). Este efeito é bem ilustrado em ecossistemas com gradientes ambientais, causando alterações nos atributos funcionais que afetam a dinâmica ecossistêmica (DURÁN et al., 2019). Com isso, o presente estudo visa mensurar a redundância funcional e vulnerabilidade funcional da comunidade de macroinvertebrados ao gradiente ambiental de precipitação pluviométrica de reservatórios do semiárido. Esperando adicionar informações sobre o estado de vulnerabilidade destes ecossistemas. Fornecendo dados importantes para futuras medidas de conservação desenvolvidas para estes ambientes.

## **2 HÍPOTESE DA PESQUISA**

A redução da precipitação pluviométrica promoverá o aumento da redundância funcional, resultando em redundância excessiva da comunidade, aumentando conseqüentemente a vulnerabilidade funcional.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar a riqueza funcional, redundância funcional e vulnerabilidade funcional da comunidade de macroinvertebrados ao longo do gradiente de precipitação pluviométrica de reservatórios no semiárido.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- 1 - Analisar a resposta funcional de macroinvertebrados dentro dos reservatórios;
- 2 – Observar a distribuição de combinações de atributos funcionais dentro do espaço funcional;
- 3 – Mensurar se o gradiente de precipitação pluviométrica interfere nos índices funcionais

#### **4 - ARTIGO - REDUNDÂNCIA FUNCIONAL E VULNERABILIDADE FUNCIONAL DE MACROINVERTEBRADOS AO LONGO DO GRADIENTE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

Luana Silveira Araújo<sup>1</sup>, Wilma Izabelly Ananias Gomes<sup>2</sup>, Joseline Molozzi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação-UEPB.Email luanaasilveira2@gmail.com.

<sup>2</sup> Universidade Estadual da Paraíba, R. Baraúnas, 351 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-  
Email: wilmaizabelly@gmail.com

<sup>3</sup>Departamento de Biologia, Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação- UEPB. Email:  
jmolozzi@gmail.com.

**RESUMO:** A perda de diversidade biológica ocasiona perda de atributos funcionais das comunidades, afetando diretamente o funcionamento ecossistêmico. Entretanto, espera-se que a alta redundância funcional, ou sejam espécies que possuem atributos funcionais semelhantes, garanta a permanência das funções dentro dos sistemas ecológicos. Contudo os atributos funcionais são influenciados pelas variáveis ambientais, como a precipitação, acentuando a homogeneização dos atributos funcionais, resultando em valores exacerbados de redundância funcional, aumentando a vulnerabilidade funcional. Pensando nisso o presente estudo tem como objetivo avaliar a riqueza funcional, redundância funcional e vulnerabilidade funcional da comunidade de macroinvertebrados ao longo do gradiente de precipitação pluviométrica. Testando a hipótese de que a redução da precipitação pluviométrica ocasionará no aumento da redundância funcional e da vulnerabilidade funcional dos macroinvertebrados. A riqueza funcional foi mensurada a partir da distribuição de Entidades funcionais (EFs) combinações únicas de atributos funcionais. A redundância funcional, Redundância Funcional Excessiva e Vulnerabilidade Funcional foram calculadas a partir da matriz de abundância da comunidade. Os atributos funcionais da comunidade permitiam a combinação de 128 EFs, porém os 2.689 organismos estiveram distribuídos em apenas 15 entidades funcionais, independente da riqueza funcional, com a maior predominância de EFs representando 25% do pool geral dos reservatórios. Observamos altos valores de redundância funcional e vulnerabilidade funcional em todos os reservatórios, onde cerca de 60% das EFs possuíam apenas um *taxa*. Entretanto o gradiente ambiental não exerceu influência significativa sobre os índices funcionais analisados. Concluindo que outros fatores podem estar influenciando nos atributos funcionais dos macroinvertebrados, onde altos valores de redundância funcional não asseguram a permanência de funções nos ecossistemas ecológicos, resultando no aumento da vulnerabilidade funcional dos organismos. Observando o agrupamento uniforme dos organismos dentro do espaço

funcional, apresentando muitas EFs com apenas uma espécie, evidenciando a fragilidade na diversidade de atributos apresentados pela comunidade de macroinvertebrados de reservatórios do semiárido.

**Palavras-Chave:** Funcionamento Ecosistêmico. Ecologia Funcional. Escassez Hídrica. Ecosistemas Vulneráveis.

#### 4.1 Introdução

É de conhecimento mútuo entre os pesquisadores que as variações ambientais afetam a diversidade de organismos de um ecossistema, e concomitantemente, trazem consequências negativas para o funcionamento ecossistêmico (OLIVER et al., 2016). Com isso, é estabelecido que a biodiversidade é o principal motor do funcionamento ecossistêmico, garantindo a permanência dos processos importantes para a dinâmica ecológica (HOOPER et al., 2012).

Recentemente, pontuou-se que dentro dos 25 anos de investigações sobre o impacto da perda de biodiversidade no funcionamento dos ecossistemas, quatro vertentes principais são predominantes dentro da ecologia, primeiro a diversidade como principal atuante nos processos ecossistêmicos, segundo a identificação de quais os mecanismos que influenciam a diversidade, terceiro, o papel das interações tróficas na diversidade e por fim, abordagens sobre a diversidade genética, filogenética e funcional, firmadas como componentes da biodiversidade (SCHERER-LORENZEN et al., 2022). Dentro dessas abordagens utilizadas como componentes da biodiversidade, a ecologia funcional investiga como os atributos funcionais das espécies são selecionados (POFF, 1997), pois os organismos responderão de acordo a exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação a essas mudanças (WEISKOPF et al., 2020) afetando as funções que desempenham no ecossistema (DUFFY; GODWIN; CARDINALE, 2017).

Essas alterações nos atributos funcionais dependem da capacidade de cada espécie de suportar uma perturbação, apresentando variabilidade de respostas onde um organismo que possui um papel chave dentro da comunidade pode ser substituído por outras espécies que desempenham funções semelhantes (ARNAN; MOLOWNY-HORAS; BLÜTHGEN, 2019). Esse processo é mensurado pela redundância funcional, onde a homogeneização drástica dos atributos funcionais ocasionam a vulnerabilidade funcional das comunidades biológicas, que correspondem a quantidade de grupos de combinações de atributos que possuem apenas uma espécie (MOUILLOT et al., 2014).

A redundância funcional e vulnerabilidade funcional são dependentes do número de espécies, diminuindo os seus valores em decorrência do aumento da diversidade de atributos

(THIBAUT; CONNOLLY, 2013). Porém, o número de espécies são influenciados pelas variáveis ambientais, funcionando como direcionadores da montagem e estrutura da comunidade biológicas (ZHANG et al., 2021). Valores exacerbados de redundância funcional apontam fragilidade das comunidades biológicas pois, embora as espécies desempenhem funções semelhantes a eficiência da execução desta função é particular a cada organismo (JIA; WHALEN, 2020). Percebendo que, mesmo ecossistemas inseridos em gradientes de riqueza de espécies possuem redundância funcional excessiva (Quantidade de espécies acima da média esperada pela redundância funcional), sendo considerados funcionalmente vulneráveis (MOUILLOT et al., 2014).

Portanto, a redundância funcional por si só não garante a permanência de funções necessárias para a manutenção dos sistemas ecológicos. Dependendo também da disponibilidade de recursos, condições ambientais e das interações mantidas pelas espécies, para que sejam mantidas em pleno funcionamento (BARSOUM et al., 2016). Assim, ambientes inseridos em gradientes ambientais são verdadeiros laboratórios de observação dos efeitos da variação de condições ambientais sobre a estrutura funcional das espécies (JUHÁSZ; OBORNY, 2020). Buscando entender como as espécies respondem às alterações do ambiente fatores físico e químicos do ambiente, mudanças na vegetação, fluxo e entrada de água em ecossistemas aquáticos, alterações na matéria orgânica, entre outros fatores, que geralmente ocasionam o declínio da abundância e biodiversidade de organismos (JUHÁSZ; OBORNY, 2020).

Gradientes ambientais são variações de características locais e regionais que interferem na montagem das comunidades, estando também relacionados com processos evolutivos, interações biológicas e distribuição dos organismos (KECK et al., 2016). Eles podem acentuar a perda de características, que conseqüentemente ocasionam a diminuição da estabilidade do ecossistema, tornando-os suscetíveis a mudanças ambientais futuras (GIORDANI et al., 2019). Além disso, podem promover a redundância funcional das comunidades biológicas, ocasionando o aumento da vulnerabilidade do ecossistema a mudanças ambientais futuras, sendo comprovado o impacto negativo do excesso de redundância funcional na manutenção do ecossistema e na sobrevivência dos organismos (GIORDANI et al., 2019). Com isso atributos funcionais como tamanho e formato do corpo, hábitos alimentares, fecundidade, são exemplos de atributos funcionais utilizados para entender a relação dos gradientes ambientais na montagem das comunidades biológicas e nos processos ecológicos em que estão envolvidas (CAIAFA et al., 2017; TEICHERT et al., 2017; CASTRO; DOLÉDEC; CALLISTO, 2018). Dentro dos mais variados gradientes ambientais existentes, destacamos aqui o gradiente de

precipitação pluviométrica, que tem recebido atenção extra devido o avanço de períodos de estiagem devido a mudanças climáticas, principalmente regiões que sofrem com a escassez hídrica, como o semiárido paraibano, foco deste estudo (HUANG et al., 2016).

A região do semiárido corresponde a locais que sofrem com longos períodos de estiagens, apresentando déficit hídrico de até 70% ao longo do ano (MARENGO et al., 2010). Em virtude disto, a precipitação pluviométrica é considerada como principal filtro ambiental em regiões de climas semiáridos, interferindo na organização e homogeneização das comunidades destes locais (CHASE, 2007). Observando que maiores taxas de precipitação favorece a presença dos organismos, encontrando maior variabilidade de atributos funcionais (GUEDES et al., 2020). Pois promovem a heterogeneidade ambiental dos ecossistemas aquáticos, influenciando na vegetação de entorno, volume hídrico, variáveis físico e químicas, aporte de matéria orgânica no sedimento e na superfície da água (GUEDES et al., 2020).

Além disso a flutuação dos fatores hidrológicos modificam o nicho das espécies, influenciando diretamente na biodiversidade dos organismos da fauna aquática (LIU et al., 2021). Estudos desenvolvidos em reservatórios do semiárido, utilizando a comunidade de macroinvertebrados como organismo modelo, observando o aumento da redundância funcional em decorrência da redução da precipitação pluviométrica, conferindo estado de vulnerabilidade a esses ecossistemas (JOVEM-AZEVÊDO et al., 2019; DE MELO et al., 2022). Macroinvertebrados sofrem forte influência de fatores hidrológicos e sazonais, direcionando a montagem desses organismos nos ecossistemas aquáticos, em especial sistemas lênticos representados aqui, por reservatórios (LEIVA et al., 2022).

Os reservatórios são definidos como ecossistemas artificiais que sofrem diversas pressões por atividades antrópicas como a pesca, irrigação agrícola e depósito de rejeitos, devido a sua estreita relação com comunidades ribeirinhas que se beneficia deste recurso hídrico (GALIZIA TUNDISI, 2018). São principalmente habitados pelos macroinvertebrados que consistem em que habitam o sedimento aquático, sendo sensíveis a mudanças no ambiente, como mudanças na vegetação, precipitação pluviométrica e descarga excessiva de nutrientes dentro do sistema (MELO et al., 2017), amplamente utilizados para avaliar o papel destas espécies na manutenção funcionalidade do ecossistema e sua capacidade de suportar as alterações no ambiente (BELLO et al., 2010; MONROY et al., 2017; ZHANG; CAI; QU, 2017; CHAIANUNPORN; HOVESTADT, 2019; CHEN et al., 2019; JOVEM-AZEVÊDO et al., 2019b; SU et al., 2019; WINDSOR et al., 2020; YING et al., 2020). Perante o exposto, o presente estudo visa analisar a redundância funcional e vulnerabilidade da comunidade de macroinvertebrados de reservatórios ao longo do gradiente de precipitação pluviométrica.

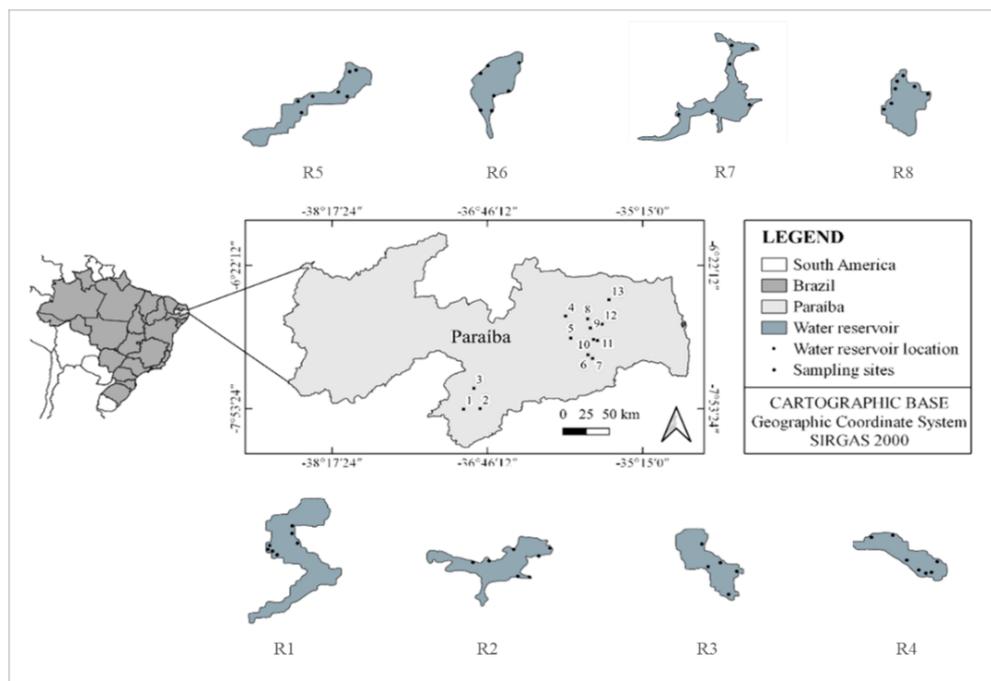
Partindo da premissa que conforme a redução da precipitação, haverá o aumento da redundância funcional, elevando os valores de vulnerabilidade funcional da comunidade.

## 4.2 Metodologia

### 4.2.1 Área de estudo

As coletas para a construção deste estudo foram realizadas em oito reservatórios inseridos no Planalto da Borborema (8,4° S e 36° W), localizado no nordeste do Brasil. Esta área corresponde ao setor de terras com altitudes acima de 200 m ao norte do rio São Francisco, banhado pelas bacias hidrográficas do Rio Paraíba, Curimataú e Mamanguape, com clima predominante quente semiárido (KÖPPEN, 1900) (Figura 1).

**Figura 1** - Representação cartográfica dos reservatórios do Planalto da Borborema. Os reservatórios estão ordenados de forma crescente, de acordo com a precipitação: 1. Algodão; 2. Camalaú; 3. Lagoa do Remígio; 4. Gavião; 5. Chupadouro II; 6. Milhã; 7. Pitombeira; 8. Lagoa do Matias



**Fonte:** Mapa produzido por Érica Luana Ferreira Álvaro.

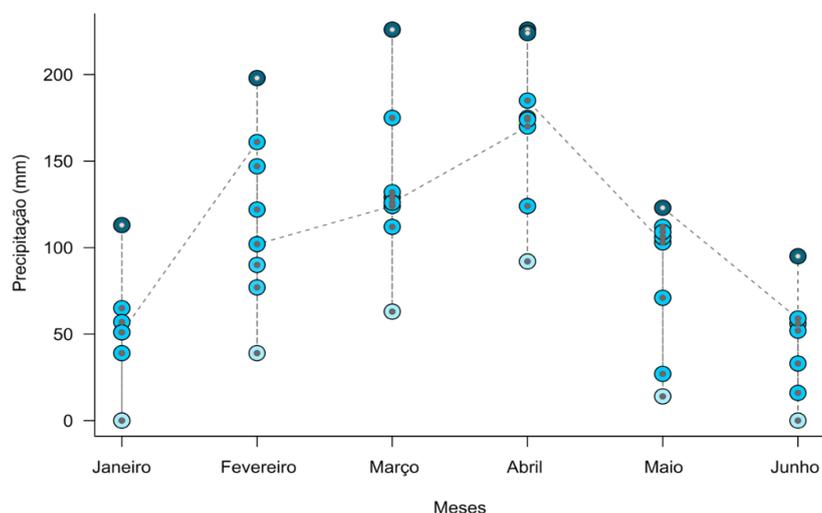
O Planalto da Borborema apresenta dois tipos de relevo: brejo de altitude e sertão. A região de brejo de altitude apresenta índices pluviométricos mais elevados (1000 mm/ano), temperaturas em torno de 22°C, clima Csb úmido subtropical com verão seco e temperado (ALVARES et al., 2013). A vegetação dessas regiões é do tipo floresta úmida e seus reservatórios apresentam sedimento mais profundos (PEREIRA FILHO; MONTINGELLI,

2011). Os reservatórios pertencentes ao brejo de altitude são: Camará, Chupadouro II, Lagoa do Matias e Pitombeira.

A região do sertão é caracterizada por estar inserida em uma área de precipitação pluviométrica reduzida (500mm/ano), com temperatura de 25°C e clima BSh semiárido (ALVARES et al., 2013). Apresentam vegetação predominante do tipo caatinga, que se associa a vegetações de tipos distintos em diferentes estágios de degradação, correspondendo a áreas sensíveis a desertificação e ação antrópica (MAYO; FEVEREIRO; ROYAL BOTANIC GARDENS, 1982; OYAMA; NOBRE, 2003). Os reservatórios que fazem parte desta região são: Camalaú, Poções, Milhã, Algodão.

As coletas utilizadas para a realização deste estudo foram efetuadas em 2018 (Maio) ao final do período chuvoso. A escolha dos sete pontos de amostragem e dos reservatórios foi pautada em informações da precipitação pluviométrica fornecidas pela Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESA) e do banco de dados do *WorldClim 2* (Fig.1). Além de ter o objetivo de abranger o máximo de área de cada reservatório. A seleção dos reservatórios foi utilizada a fim de captar o gradiente de precipitação pluviométrica do Planalto da Borborema (FICK; HIJMANS, 2017). Utilizou-se dados da precipitação pluviométrica do mês correspondente a coleta colhidos no banco de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). As taxas de precipitação pluviométrica deste período correspondem ao período chuvoso das regiões estudadas (Figura 2).

**Figura 2** - Precipitação pluviométrica do primeiro semestre de 2018, ilustrando as diferenças apresentadas dentro gradiente dentro do período chuvoso. Os pontos representam a precipitação pluviométrica dos oito reservatórios, onde os pontos azuis são os maiores valores de precipitação, e aqueles em azul claro, os de menor valor



**Fonte:** Autor.

#### 4.2.2 Comunidade de macroinvertebrados

Coletou-se alíquotas de sedimento para análise da comunidade de macroinvertebrados através da draga de Ekman-Birge (0,0225 m<sup>2</sup>), na região litorânea de cada ponto dos reservatórios. Estas amostras foram fixadas *in situ* com formaldeído a 4%, posteriormente levadas ao laboratório para o processo de lavagem em peneiras com malhas de 0,5 mm. Realizou-se a triagem do material, identificando os organismos da ordem Diptera obtidos à nível de gênero. Porém Tricoptera, Ephemeroptera, Plecoptera e Crustacea, foram identificados ao nível de família devido a limitações no avanço da identificação desses grupos. Utilizou-se chaves taxonômicas específicas para a identificação dos espécimes coletados (CUMMINS; MERRITT, 1996; TRIVINHO-STRIXINO, 2011).

#### 4.2.3 Atributos funcionais

Selecionou-se sete atributos funcionais subdivididos em 26 categorias, afim de captar os efeitos do gradiente de precipitação pluviométrica, sobre a vulnerabilidade e redundância funcional da comunidade de macroinvertebrados (SERRA et al., 2016; SAULINO; LEITE-ROSSI; TRIVINHO-STRIXINO, 2017; JOVEM-AZEVÊDO et al., 2019) (Tabela 1).

O atributo tamanho do corpo foi obtido a partir da medição desde a cápsula cefálica até o último segmento do corpo, excluindo os apêndices cefálico e terminal. Após a medição de todos os organismos coletados, foi estabelecido cinco categorias de tamanho de acordo com a classificação de Serra et al (2016). Os demais atributos foram retirados a partir de informações em artigos publicados sobre a comunidade de macroinvertebrados (Material Suplementar).

Para a realização dos índices de Redundância Funcional, Redundância Funcional Excessiva e Vulnerabilidade Funcional, foi necessário a transformação do atributo tamanho do corpo. Passando de um dado de característica contínua, para um dado do tipo categórico. Esta adequação foi necessária devido aos critérios dos índices que só permitem a entrada de dados categóricos (MOUILLOT et al., 2014).

**Tabela 1** - 26 categorias dos sete atributos selecionados da comunidade de macroinvertebrados

Atributo	Categoria	Função
<b>Tamanho do Corpo</b>	<2,5 / 2,5-5,0 / 5,0-10 / 10_20 / 20-40 mm	Desenvolvimentos dos organismos (SERRA et al., 2016)
<b>Dispersão</b>	Ativa / Passiva	Disposição no sedimento e capacidade de refugiar-se após ameaçados (USSEGLIO-POLATERA et al., 2000)

<b>Estratégia alimentar</b>	Filtrador / Coletor Herbívoro / Engoblador/ Predador	Papel na vida trófica; produtividade. (BUTAKKA et al., 2014)
<b>Hábito</b>	Escalador / Construtor de tubos / Aderido / Nadador	Rapidez e mobilidade no sedimento (POFF et al., 2006)
<b>Estágio larval</b>	< 6 meses / > 6 meses	Desenvolvimento e sobrevivência dos organismos (GLADSTONE-GALLAGHER et al., 2019)
<b>Reprodução</b>	Ovos livres isolados / Ovos aderidos Ovos aderidos ao sedimento / Ovos livres no ambiente Garras endofíticas / Garras terrestres Reprodução assexuada	Capacidade de manter a densidade da população (GLADSTONE-GALLAGHER et al., 2019)
<b>Hemoglobina</b>	Presente / Ausente	Permanência em locais com redução de concentração de oxigênio. (JOVEM-AZEVÊDO et al., 2019)

**Fonte:** Autor.

#### 4.2.4 Índices Funcionais e análises estatísticas

A Riqueza Funcional (FRic) foi retirada a partir do volume do espaço funcional ocupado pelas Entidades Funcionais (EFs) ou seja, combinações únicas compartilhadas pelos organismos, dentro dos reservatórios. Para o estabelecimento do espaço funcional, mensurou-se a distância funcional pareada entre as EFs a partir da distância de Gower, dando peso igual para as variáveis (GOWER, 1971). Com estes dados, foi realizada a Análise de Coordenadas Principais (PCoA), para formar as coordenadas das entidades funcionais nos quatro primeiros eixos principais (PC). O espaço tridimensional obteve maior valor de correlação das distâncias euclidianas entre EFs com a distância de Gower (teste de Mantel,  $r = 0,078$ ,  $P < 0,001$ ), e por isso foi escolhido para a plotagem do espaço funcional. Todos esses passos foram seguidos de acordo com a metodologia proposta por Villeger et al (2008) e Mouillot et al (2014).

Escolheu-se os índices funcionais propostos por Mouillot et al (2014) para mensurar da redundância funcional e vulnerabilidade funcional dos reservatórios. Sendo eles: Redundância Funcional (Equação 1); Vulnerabilidade Funcional (Equação 2) e Redundância Excessiva (Equação 3), expressos nas seguintes equações:

$$(1) FR = \frac{S}{FE}$$

$$(2) FV = \frac{FE - \sum_{i=1}^{FE} \min(n_i - 1, 1)}{FE}$$

$$(3) FOR = \frac{\sum_{i=1}^{FE} \min([\max(n_i, FR)] - FR, 1)}{FE}$$

Onde  $S$  é o número total de espécie e  $n_i$  o número de espécie representado na unidade funcional.

A Redundância Funcional (FR) corresponde ao número médio de espécies por entidade funcional. A Redundância Excessiva (FOR) é expressa pela porcentagem de espécies em entidades funcionais, possuindo mais espécies do que a média obtida pela FR. Por fim, a Vulnerabilidade Funcional (FV) é definida pela porcentagem de entidades funcionais que possuem uma única espécie (MOUILLOT et al., 2014).

Utilizou-se a matriz de abundância da comunidade de macroinvertebrados para os cálculos de todos os índices funcionais.

As análises foram realizadas considerando os pontos de cada reservatório, sendo retirados aqueles que tinham soma zero de abundância, devido aos requisitos dos índices de possuir ao menos um indivíduo em cada ambiente analisado. Além disso, foi feito o teste de normalidade de Shapiro-Wilk nos dados obtidos pelos índices de Redundância Funcional, Redundância Funcional Excessiva e Vulnerabilidade Funcional, observando que os dados não possuem distribuição normal ( $p < 0,05$ ). Devido a isso, foram utilizados Modelos Lineares Generalizados (GLMMs) para verificar se o gradiente de precipitação pluviométrica exerce influência nos valores dos índices funcionais empregados. Também foi realizado a padronização dos dados em distribuição binomial (0 a 1) para evitar problemas de pseudoreplicação, já que os dados apresentam design desbalanceado.

Todas as análises foram realizadas no software R, versão 4.0.2 (R Core Development Team, 2019). Utilizando os pacotes: “ade4”, “vegan”, “FD”, “mFD” para os índices funcionais e plotagem do espaço funcional (DRAY; DUFOUR, 2007; LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010a, 2010b; BOUGEARD; DRAY, 2018; OKSAMEN et al, 2020; MAGNEVILLE et al, 2021). E o pacote “lme4” para a GLMM (BATES et al., 2015).

### 4.3 Resultados e Discussão

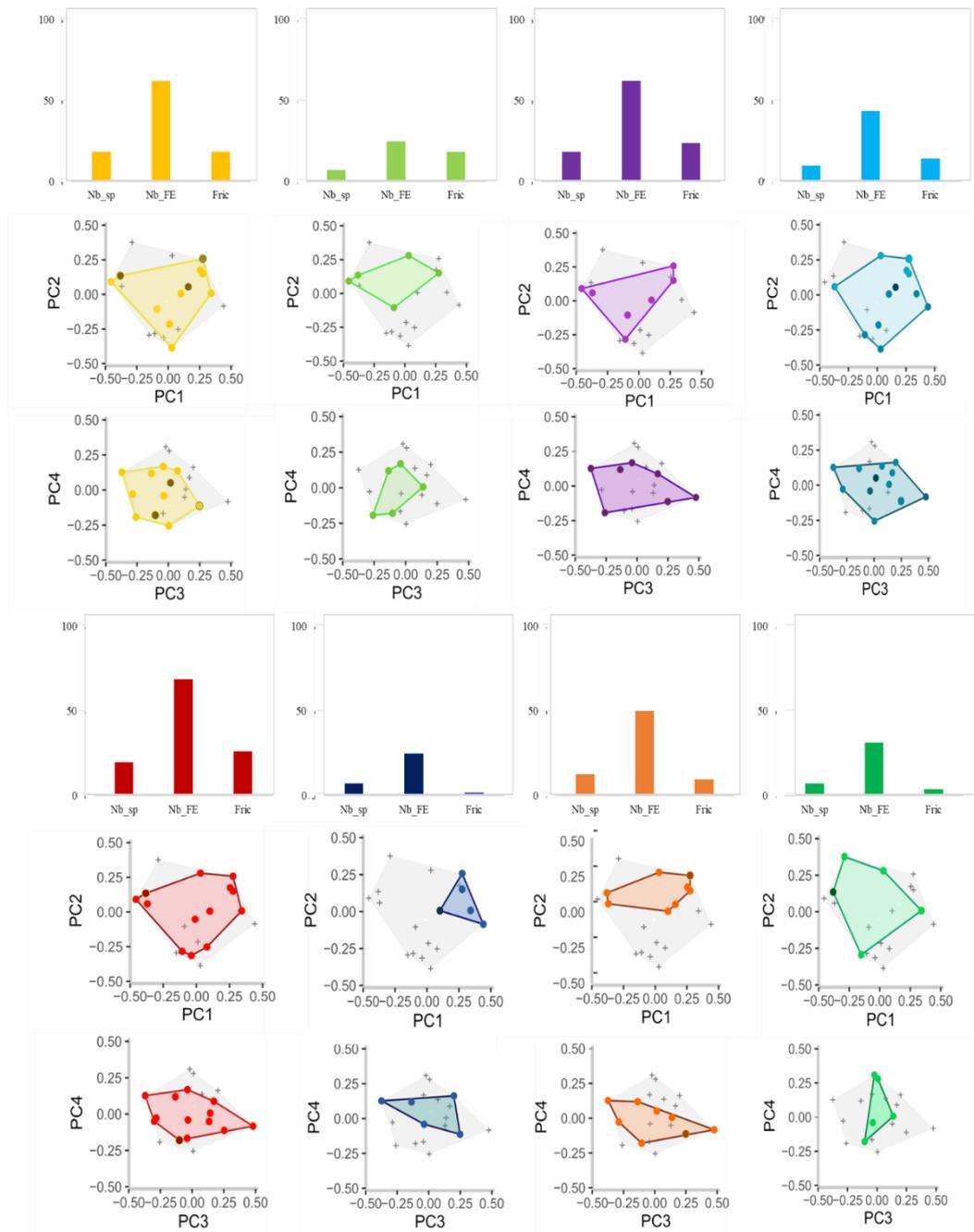
Porcentagens do preenchimento de EFs foram estipuladas para verificar como os organismos se distribuem nestes ambientes (Histogramas da Figura 3). Registrou-se 2.896 organismos no geral, com 22 *taxa* distribuídos em 15 entidades funcionais. Os maiores e menores valores de abundância foram encontrados, respectivamente, nos reservatórios de Gavião (R4) e Camalaú (R2) com 1.789 e 15 organismos observados. Estes preenchem em sequência, 18% e 7% da riqueza de *taxas* dentro de todos os reservatórios analisados. Onde, o reservatório de Gavião apresenta precipitação pluviométrica de 106 mm e Camalaú com 27 mm. O conjunto de atributos funcionais e suas categorias formam o número máximo de 128 combinações únicas de categorias funcionais, as Entidades Funcionais (EFs). Porém, os 2.896 organismos identificados ocuparam 15 entidades funcionais, correspondendo apenas 11,72% do total de EFs esperado.

Essas mudanças na riqueza e abundância dos organismos dentro dos reservatórios, evidencia que a comunidade de macroinvertebrados é influenciada principalmente por variações nas condições locais do ambiente em que estão inseridas (MARTINS; FORMIGO; ANTUNES, 2020). Com isso, a flutuação das variáveis hidrológicas em decorrência da precipitação pluviométrica, modifica a heterogeneidade do habitat que conseqüentemente influencia na concentração de matéria orgânica, vegetação flutuante e nutrientes no sedimento, alterando os recursos alimentares e locais de refúgio disponíveis nessas áreas (MERETA et al., 2012; CÉRÉGHINO et al., 2020). Estudos com macroinvertebrados de reservatórios inseridos em locais com variações na precipitação pluviométrica ilustram que a redução da precipitação conduz a diminuição da abundância de macroinvertebrados, e também da variabilidade de seus atributos funcionais (JOVEM-AZEVÊDO et al., 2019; DE MELO et al., 2022).

Em termos de representatividade de entidades funcionais, observa-se que os reservatórios com menor riqueza de *taxa*: Camalaú (R2), Lagoa do Matias (R8) e Lagoa de Remígio (R3) possuem, respectivamente 25%, 31% e 44% de EFs no pool geral dos reservatórios analisados. Ocupando, em sequência 18%, 4% e 14% do espaço funcional (Figura 3). Embora o reservatório Chupadouro II (R5) tenha contido mais *taxa* (14 *taxa*, cerca de 20% do pool geral) e representado 69% das EFs no geral, observamos que a proporção de sua ocupação dentro do espaço funcional é semelhante a de reservatórios com menor riqueza de *taxa* (Representando 25%, onde Camalaú com apenas 4 *taxa*, apresenta 25% do espaço funcional) (Figura 3). Essa semelhança na ocupação do espaço funcional indica que os organismos são mais agrupados para locais com maior riqueza de *taxa*, porém apresentando

valores semelhantes de Riqueza Funcional (FRic) dentro deste espaço. Como também foi observado por Mouillot et al (2014) em seu gradiente de riqueza de espécies de peixes.

**Figura 3** - Representação da distribuição das EFs dentro do espaço funcional de cada reservatório. Os histogramas na parte superior, ilustram proporções (%) da riqueza de *taxa*, riqueza de entidades funcionais e riqueza funcional do pool geral dos ambientes analisados. A distribuição de entidades funcionais é exemplificada em espaços funcionais com PC1-PC2 e PC3-PC4 representando eixos da Análise de Coordenadas Principais (PCA) de atributos funcionais. Onde os reservatórios estão ordenados de acordo com a precipitação (ordem crescente) em sequência: R1 (amarelo), R2 (Verde), R3 (Roxo), R4 (Azul), R5 (Vermelho), R6 (Azul escuro), R7 (Laranja) e R8 (Verde escuro). O espaço funcional corresponde a 15 entidades, abrangendo 2.896 organismos, representado pela cor cinza. Os círculos coloridos são as entidades funcionais (EFs) presentes nos reservatórios, onde a ausência de EFs é representada pelas cruzes.

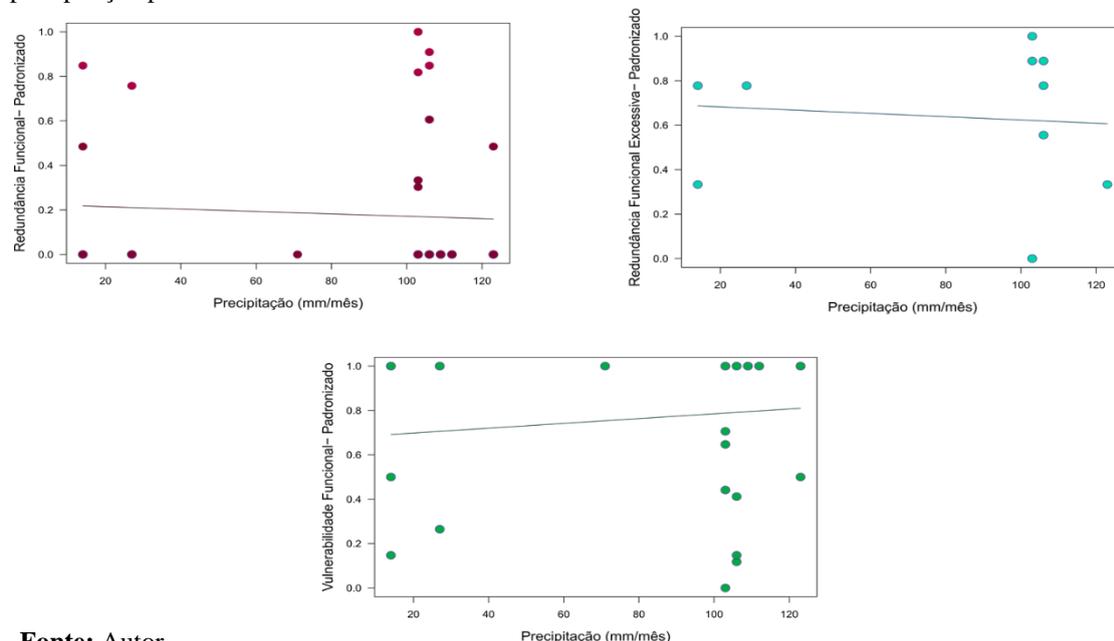


Fonte: Autor.

Observamos valores altos de redundância funcional ( $> 1.00$ ) em todos os reservatórios analisados (Dados brutos no Material Suplementar) (Figura 4). Concluindo que mesmo aqueles sistemas que possuem 69% ou 25% de EFs dentro do pool geral, apresentam valores exacerbados de redundância funcional, que independem das combinações apresentadas pela comunidade de macroinvertebrados. Ademais a isto, nossos resultados apontam que as EFs dos ambientes analisados não possuem mais do que um taxón acima da média representada pela redundância funcional excessiva. Independente do ambiente e da precipitação pluviométrica apresentada por ele. Confirmando a fragilidade funcional apresentada pelos reservatórios aqui analisados, evidenciado pelos valores de vulnerabilidade funcional (Figura 4), onde 60% das EFs possuem apenas um taxón. A acentuação da redundância funcional, gera o aumento da vulnerabilidade dos sistemas ecológicos, devido a homogeneização drástica dos atributos funcionais da comunidade, afetando a eficiência das funções desempenhadas pelas espécies (MASON et al., 2005; MOUILLOT et al., 2014).

Entretanto, o gradiente ambiental de precipitação não apresentou relação significativa com os valores dos índices funcionais aplicados, aceitando a hipótese nula de que o gradiente não influencia na redundância funcional e vulnerabilidade funcional (FR - GLMM:  $P = 0.72$ ;  $F = 0.12$ . FOR - GLMM:  $P = 0.84$ ;  $F = 0.04$ . FV - GLMM:  $P = 0.52$ ;  $F = 0.40$ ) da comunidade de macroinvertebrados bentônicos dos reservatórios analisados (Figura 4). Isso deve-se ao fato de que outros fatores podem influenciar nos atributos da comunidade de macroinvertebrados de reservatórios, como o volume hídrico, a vegetação de entorno, interações entre as espécies, composição do sedimento e parâmetros físico-químicos da água (ERASMUS et al., 2021).

**Figura 4** – Representação dos resultados dos modelos lineares dos índices funcionais ao longo do gradiente de precipitação pluviométrica



Fonte: Autor.

Ademais a isso, os valores de redundância funcional encontrados em nossos resultados elucidam que embora teoricamente alta redundância funcional garante a permanência de funções dentro do ecossistema, desempenhando um “efeito seguro” reduzindo o impacto da perda de atributos funcionais (BOGAN; BOERSMA; LYTLE, 2015). O aumento da redundância funcional gera vulnerabilidade funcional dos ecossistemas ecológicos, como observamos em nossos resultados. Por isso estudos que avaliam o efeito do ambiente sobre os atributos funcionais, tem alertado sobre a interpretação do “Efeito seguro” oferecido sobre a redundância funcional como uma garantia da permanência de funções dentro de um ecossistema (DE BELLO et al., 2010, 2021; MOUILLOT et al., 2014; WANG et al., 2018). Pois a predominância de combinações redundantes (EFs) não resulta em baixos valores de vulnerabilidade funcional, elucidando a necessidade de uma interpretação cautelosa sobre o papel da redundância funcional na estabilidade ecológica (CHUA; TAN; YEO, 2019). Inferindo que apenas garantir a alta diversidade de espécies não resultará em baixa vulnerabilidade funcional dos sistemas ecológicos (GIORDANI et al., 2019).

Embora seja conhecido que a precipitação pluviométrica interfere na estrutura funcional das comunidades de macroinvertebrados bentônicos, assim como observado por Pero et al (2020) em rios neotropicais da Argentina. Percebemos que este padrão não é recorrente na comunidade de macroinvertebrados de ecossistemas aquáticos brasileiros (PIO; SANTIAGO; COPATTI, 2020). Variações na composição granulométrica e matéria orgânica do sedimento, flutuações nos parâmetros físico e químicos parecem exercer mais influência sobre os macroinvertebrados desta região, do que as condições climáticas (Seca e chuva) (PEREIRA et al., 2017). Estes organismos possuem estreita relação com as características locais do habitat, e por este fato, essas variáveis apresentam efeito direto significativo sobre a diversidade funcional de macroinvertebrados bentônicos (SWAN et al., 2022). Entretanto vale ressaltar que embora a precipitação pluviométrica não apresente efeito direto sobre os atributos funcionais dos macroinvertebrados, ela altera as condições locais (vegetação, físico-químico, volume hídrico, matéria orgânica) afetando indiretamente as comunidades biológicas (PERREN; AXFORD; KAUFMAN, 2017) .

O presente estudo explana sobre a importância da investigação da redundância funcional e vulnerabilidade funcional das comunidades biológicas, relacionando com as variáveis ambientais. Pois essas informações auxiliam na compreensão de qual(ais) fator(es) são os principais direcionadores da estrutura funcional dos organismos. Reforçando a necessidade de testar diferentes fatores ambientais que podem influenciar no estabelecimento dos organismos nos ecossistemas. Modelos preditivos que simulam mudanças ambientais ao longo do tempo,

com enfoque nos efeitos estocásticos destas alterações, podem ser uma ótima alternativa metodológica para compreensão dos fatores que influenciam os atributos funcionais das espécies (BOSCH-BELMAR et al., 2021). Assim, integrando dados que auxiliarão nos debates sobre como atenuar os efeitos das mudanças climáticas na diversidade biológica global, e assim garantir a permanência dos sistemas ecológicos.

#### **4.4 Conclusão**

Conclui-se que altos valores de redundância funcional não asseguram a permanência de funções nos ecossistemas ecológicos, resultando no aumento da vulnerabilidade funcional das comunidades biológicas. Observando o agrupamento uniforme dos organismos dentro do espaço funcional, apresentando muitas EFs com apenas uma espécie, evidenciando a fragilidade na diversidade de atributos apresentados pela comunidade de macroinvertebrados de reservatórios do semiárido. Reforçamos assim, a importância de uma interpretação clara e cautelosa sobre o papel da redundância funcional no funcionamento ecossistêmico, para evitar conclusões errôneas sobre a estabilidade dos sistemas biológicos.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ARNAN, X.; MOLOWNY-HORAS, R.; BLÜTHGEN, N. Food Resource Exploitation and Functional Resilience in Ant Communities Found in Common Mediterranean Habitats. **Science of The Total Environment**, v. 684, p. 126–135, 20 set. 2019.
- BARSOUM, N. et al. Diversity, Functional Structure and Functional Redundancy of Woodland Plant Communities: How Do Mixed Tree Species Plantations Compare with Monocultures? **Forest Ecology and Management**, v. 382, p. 244–256, 15 dez. 2016.
- BATES, D. et al. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using Lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, p. 1–48, 7 out. 2015.
- BEIROZ, W. et al. Spatial and Temporal Shifts in Functional and Taxonomic Diversity of Dung Beetles in a Human-Modified Tropical Forest Landscape. **Ecological Indicators**, v. 95, p. 518–526, 1 dez. 2018.
- BELLO, F. et al. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, 1 set. 2010.
- BOGAN, M. T.; BOERSMA, K. S.; LYTLE, D. A. Resistance and Resilience of Invertebrate Communities to Seasonal and Supraseasonal Drought in Arid-Land Headwater Streams. **Freshwater Biology**, v. 60, n. 12, p. 2547–2558, 2015.
- BOSCH-BELMAR, M. et al. Integrating Functional Traits into Correlative Species Distribution Models to Investigate the Vulnerability of Marine Human Activities to Climate Change. **Science of The Total Environment**, v. 799, p. 149351, 10 dez. 2021.
- BOUGEARD, S.; DRAY, S. Supervised Multiblock Analysis in R with the Ade4 Package. **Journal of Statistical Software**, v. 86, p. 1–17, 3 set. 2018.
- BUTAKKA, C. M. M. et al. Chironomidae Larvae (Diptera) of Neotropical Floodplain: Overlap Niche in Different Habitats. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 2, p. 363–370, maio 2014.
- CAIAFA, M. V. et al. Functional Diversity of Macromycete Communities along an Environmental Gradient in a Mexican Seasonally Dry Tropical Forest. **Fungal Ecology**, v. 28, p. 66–75, 1 ago. 2017.
- CASTRO, D. M. P. de; DOLÉDEC, S.; CALLISTO, M. Land Cover Disturbance Homogenizes Aquatic Insect Functional Structure in Neotropical Savanna Streams. **Ecological Indicators**, v. 84, p. 573–582, 1 jan. 2018.
- CÉRÉGHINO, R. et al. Desiccation Resistance Traits Predict Freshwater Invertebrate Survival and Community Response to Drought Scenarios in a Neotropical Ecosystem. **Ecological Indicators**, v. 119, p. 106839, 1 dez. 2020.

CHAIANUNPORN, T.; HOVESTADT, T. Dispersal Evolution in Metacommunities of Tri-Trophic Systems. **Ecological Modelling**, v. 395, p. 28–38, 1 mar. 2019.

CHASE, J. M. Drought Mediates the Importance of Stochastic Community Assembly. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 44, p. 17430–17434, 30 out. 2007.

CHEN, Y. et al. High-Throughput Profiling of Antibiotic Resistance Gene Dynamic in a Drinking Water River-Reservoir System. **Water Research**, v. 149, p. 179–189, 1 fev. 2019.

CHUA, K. W. J.; TAN, H. H.; YEO, D. C. J. Loss of Endemic Fish Species Drives Impacts on Functional Richness, Redundancy and Vulnerability in Freshwater Ecoregions of Sundaland. **Biological Conservation**, v. 234, p. 72–81, 1 jun. 2019.

CUMMINS, K.; MERRITT, R. An Introduction to The Aquatic Insects of North America. **The Journal of Animal Ecology**, v. 50, 1 set. 1996.

DE BELLO, F. et al. Towards an Assessment of Multiple Ecosystem Processes and Services via Functional Traits. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 10, p. 2873–2893, 1 set. 2010.

DE BELLO, F. et al. Functional Trait Effects on Ecosystem Stability: Assembling the Jigsaw Puzzle. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 36, n. 9, p. 822–836, 1 set. 2021.

DE MELO, D. B. et al. Extreme Drought Scenario Shapes Different Patterns of Chironomid Coexistence in Reservoirs in a Semi-Arid Region. **Science of The Total Environment**, p. 153053, 14 jan. 2022.

DRAY, S.; DUFOUR, A.-B. The Ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. **Journal of Statistical Software**, v. 22, p. 1–20, 30 set. 2007.

DUFFY, J. E.; GODWIN, C. M.; CARDINALE, B. J. Biodiversity Effects in the Wild Are Common and as Strong as Key Drivers of Productivity. **Nature**, v. 549, n. 7671, p. 261–264, set. 2017.

DURÁN, S. M. et al. Informing trait-based ecology by assessing remotely sensed functional diversity across a broad tropical temperature gradient. **Science Advances**, v. 5, n. 12, p. eaaw8114, [s.d.]

FERREIRA, V. M. B. et al. Diversity and Microhabitat Use of Benthic Invertebrates in an Urban Forest Stream (Southeastern Brazil). **Iheringia. Série Zoologia**, v. 111, 18 out. 2021. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/isz/a/LPtZLrhxx8PzchGBD7mBkSB/?lang=en>>. Acesso em: 24 fev. 2022.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: New 1-Km Spatial Resolution Climate Surfaces for Global Land Areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017.

FONSECA, C. R.; GANADE, G. Species Functional Redundancy, Random Extinctions and the Stability of Ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 89, n. 1, p. 118–125, 2001.

FU, H. et al. Functional Traits Mediated Cascading Effects of Water Depth and Light Availability on Temporal Stability of a Macrophyte Species. **Ecological Indicators**, v. 89, p. 168–174, 1 jun. 2018.

GALIZIA TUNDISI, J. Reservoirs: New Challenges for Ecosystem Studies and Environmental Management. **Water Security**, v. 4–5, p. 1–7, 1 ago. 2018.

GIORDANI, P. et al. Functional Over-Redundancy and Vulnerability of Lichen Communities Decouple across Spatial Scales and Environmental Severity. **Science of The Total Environment**, v. 666, p. 22–30, 20 maio 2019.

GOMES, W. I. A. et al. Functional Attributes of Chironomidae for Detecting Anthropogenic Impacts on Reservoirs: A Biomonitoring Approach. **Ecological indicators**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.006>>. Acesso em: 4 out. 2021.

GOWER, J. C. **A General Coefficient of Similarity and Some of Its Properties.**

GREENOP, A. et al. Patterns of Invertebrate Functional Diversity Highlight the Vulnerability of Ecosystem Services over a 45-Year Period. **Current Biology**, v. 31, n. 20, p. 4627–4634.e3, 25 out. 2021.

GRINNELL, J. The Niche-Relationships of the California Thrasher. **The Auk**, v. 34, n. 4, p. 427–433, 1917.

GUEDES, G. H. S. et al. Artificial Flow Regime Promotes Abiotic and Biotic Gradients: Testing the Concept of Longitudinal Zonation in an off-River Reservoir. **Ecohydrology & Hydrobiology**, 19 fev. 2020. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1642359320300136>>. Acesso em: 11 maio. 2020.

HOOPER, D. U. et al. A Global Synthesis Reveals Biodiversity Loss as a Major Driver of Ecosystem Change. **Nature**, v. 486, n. 7401, p. 105–108, 7 jun. 2012.

HUANG, J. et al. Accelerated Dryland Expansion under Climate Change. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 2, p. 166–171, fev. 2016.

JIA, Y.; WHALEN, J. K. A New Perspective on Functional Redundancy and Phylogenetic Niche Conservatism in Soil Microbial Communities. **Pedosphere**, v. 30, n. 1, p. 18–24, 1 fev. 2020.

JOVEM-AZEVÊDO, D. et al. Dipteran Assemblages as Functional Indicators of Extreme Droughts. **Journal of Arid Environments**, v. 164, p. 12–22, 1 maio 2019a.

JOVEM-AZEVÊDO, D. et al. Dipteran Assemblages as Functional Indicators of Extreme Droughts. **Journal of Arid Environments**, v. 164, p. 12–22, 1 maio 2019b.

- JOVEM-AZEVEDO, D. et al. Dipteran Assemblages as Functional Indicators of Extreme Droughts. **Journal of Arid Environments**, v. 164, p. 12–22, 1 maio 2019c.
- JUHÁSZ, R.; OBORNY, B. Percolation Theory Suggests Some General Features in Range Margins across Environmental Gradients. **Ecological Complexity**, v. 42, p. 100814, 1 mar. 2020.
- KECK, F. et al. Phylogenetic Signal in Diatom Ecology: Perspectives for Aquatic Ecosystems Biomonitoring. **Ecological Applications**, v. 26, n. 3, p. 861–872, 2016.
- KÖPPEN, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **Geographische Zeitschrift**, v. 6, n. 11, p. 593–611, 1900.
- LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A Distance-Based Framework for Measuring Functional Diversity from Multiple Traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299–305, 2010a.
- LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A Distance-Based Framework for Measuring Functional Diversity from Multiple Traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299–305, 2010b.
- LAM-GORDILLO, O.; BARING, R.; DITTMANN, S. Ecosystem Functioning and Functional Approaches on Marine Macrobenthic Fauna: A Research Synthesis towards a Global Consensus. **Ecological Indicators**, v. 115, p. 106379, 1 ago. 2020.
- LEIVA, M. et al. Functional Diversity of Benthic Macroinvertebrates Regarding Hydrological and Land Use Disturbances in a Heavily Impaired Lowland River. **Limnologica**, v. 92, p. 125940, 1 jan. 2022.
- LIU, X. et al. Climate Warming-Induced Drought Constrains Vegetation Productivity by Weakening the Temporal Stability of the Plant Community in an Arid Grassland Ecosystem. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 307, p. 108526, 15 set. 2021.
- MARTINS, F. S.; FORMIGO, N.; ANTUNES, S. C. Can Be the Environmental and Biotic Factors Responsible for Macroinvertebrate Communities' Alterations in Portuguese Alpine Ponds? **Limnologica**, v. 83, p. 125782, 1 jul. 2020.
- MASON, N. W. H. et al. Functional Richness, Functional Evenness and Functional Divergence: The Primary Components of Functional Diversity. **Oikos**, v. 111, n. 1, p. 112–118, 2005.
- MAYO, S. J.; FEVEREIRO, V. P. B.; ROYAL BOTANIC GARDENS, K. **Mata de Pau Ferro : a pilot study of the Brejo Forest of Paraíba, Brazil**. [s.l.] Kew : Royal Botanic Gardens (Bentham-Moxon Trust) in association with the Winston Churchill Memorial Trust, Great Britain, 1982.
- MELO, R. et al. Influence of Extreme Strength in Water Quality of the Jucazinho Reservoir, Northeastern Brazil, PE. **Water**, v. 9, p. 955, 7 dez. 2017.

- MERETA, S. T. et al. Analysis of Environmental Factors Determining the Abundance and Diversity of Macroinvertebrate Taxa in Natural Wetlands of Southwest Ethiopia. **Ecological Informatics**, v. 7, n. 1, p. 52–61, 1 jan. 2012.
- MONROY, S. et al. Structural and Functional Recovery of Macroinvertebrate Communities and Leaf Litter Decomposition after a Marked Drought: Does Vegetation Type Matter? **Science of The Total Environment**, v. 599–600, p. 1241–1250, 1 dez. 2017.
- MOUILLOT, D. et al. A Functional Approach Reveals Community Responses to Disturbances. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 28, n. 3, p. 167–177, 1 mar. 2013.
- MOUILLOT, D. et al. Functional Over-Redundancy and High Functional Vulnerability in Global Fish Faunas on Tropical Reefs. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 38, p. 13757–13762, 23 set. 2014.
- OLIVER, T. et al. A Synthesis is Emerging between Biodiversity–Ecosystem Function and Ecological Resilience Research: Reply to Mori. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 31, 14 jan. 2016.
- OLIVIER, D. et al. Functional-Biogeography of the Reef Fishes of the Islands of the Gulf of California: Integrating Functional Divergence into Marine Conservation. **Global Ecology and Conservation**, v. 16, p. e00506, 1 out. 2018.
- OTTAVIANI, G. et al. Linking Plant Functional Ecology to Island Biogeography. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 4, p. 329–339, 1 abr. 2020.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A New Climate-Vegetation Equilibrium State for Tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 23, 2003. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2003GL018600>>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- PEREIRA FILHO, G. A.; MONTINGELLI, G. G. Check List of Snakes from the Brejos de Altitude of Paraíba and Pernambuco, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 3, p. 145–151, set. 2011.
- PEREIRA, T. da S. et al. Can the Substrate Influence the Distribution and Composition of Benthic Macroinvertebrates in Streams in Northeastern Brazil? **Limnologia**, v. 63, p. 27–30, 1 mar. 2017.
- PERREN, B. B.; AXFORD, Y.; KAUFMAN, D. S. Alder, Nitrogen, and Lake Ecology: Terrestrial-Aquatic Linkages in the Postglacial History of Lone Spruce Pond, Southwestern Alaska. **PLOS ONE**, v. 12, n. 1, p. e0169106, 11 jan. 2017.
- PETCHEY, O. L. Integrating Methods That Investigate How Complementarity Influences Ecosystem Functioning. **Oikos**, v. 101, n. 2, p. 323–330, 2003.
- PIO, J. F. G.; SANTIAGO, E. de F. E.; COPATTI, C. E. Composition and Diversity of Benthic Macroinvertebrates in a Brazilian Cerrado Stream. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 110,

15 jul. 2020. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/j/isz/a/GFs9XK6YshJkRyYbvPYDPkr/?lang=en>>. Acesso em: 24 fev. 2022.

POFF, N. L. Landscape Filters and Species Traits: Towards Mechanistic Understanding and Prediction in Stream Ecology. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 16, n. 2, p. 391–409, 1997.

REBOITA, M. S. et al. CAUSAS DA SEMI-ARIDEZ DO SERTÃO NORDESTINO (THE CAUSES OF SEMI-ARIDITY IN THE NORTHEAST “SERTÃO”). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, n. 0, 17 out. 2016. Disponível em:

<<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42091>>. Acesso em: 12 abr. 2020.

SACCÒ, M. et al. New Light in the Dark - a Proposed Multidisciplinary Framework for Studying Functional Ecology of Groundwater Fauna. **Science of The Total Environment**, v. 662, p. 963–977, 20 abr. 2019.

SAULINO, H. H.; LEITE-ROSSI, L. A.; TRIVINHO-STRIXINO, S. The Effect of Small Reservoirs on Chironomid Diversity and Trait Composition in Savanna Streams: Evidence for Serial Discontinuity Concept. **Hydrobiologia**, v. 793, n. 1, p. 109–119, 1 jun. 2017.

SCHERER-LORENZEN, M. et al. Pathways for Cross-Boundary Effects of Biodiversity on Ecosystem Functioning. **Trends in Ecology & Evolution**, 19 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534721003566>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

SERRA, S. R. Q. et al. Synthesising the Trait Information of European Chironomidae (Insecta: Diptera): Towards a New Database. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 282–292, 1 fev. 2016.

SHIPLEY, B. et al. Reinforcing Loose Foundation Stones in Trait-Based Plant Ecology. **Oecologia**, v. 180, n. 4, p. 923–931, 1 abr. 2016.

SU, P. et al. Variability in Macroinvertebrate Community Structure and Its Response to Ecological Factors of the Weihe River Basin, China. **Ecological Engineering**, v. 140, p. 105595, 1 dez. 2019.

SWAN, C. M. et al. Loss of Phylogenetic Diversity under Landscape Change. **Science of The Total Environment**, v. 822, p. 153595, 20 maio 2022.

TEICHERT, N. et al. Living under Stressful Conditions: Fish Life History Strategies across Environmental Gradients in Estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 188, p. 18–26, 15 mar. 2017.

THIBAUT, L. M.; CONNOLLY, S. R. Understanding Diversity–Stability Relationships: Towards a Unified Model of Portfolio Effects. **Ecology Letters**, v. 16, n. 2, p. 140–150, 2013.

TILMAN, D. Biodiversity: Population Versus Ecosystem Stability. **Ecology**, v. 77, n. 2, p. 350–363, 1996.

TRIVINHO-STRIXINO, S. Chironomidae (Insecta, Diptera, Nematocera) do Estado de São Paulo, Sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 675–684, dez. 2011.

VIOLLE, C. et al. Let the Concept of Trait Be Functional! **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882–892, 2007.

WANG, Y. et al. Impact of Rapid Urbanization on Vulnerability of Land System from Complex Networks View: A Methodological Approach. **Complexity**, v. 2018, p. 1–18, 2 maio 2018.

WEISKOPF, S. R. et al. Climate Change Effects on Biodiversity, Ecosystems, Ecosystem Services, and Natural Resource Management in the United States. **Science of The Total Environment**, p. 137782, 10 mar. 2020.

WINDSOR, F. M. et al. Environment and Food Web Structure Interact to Alter the Trophic Magnification of Persistent Chemicals across River Ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 717, p. 137271, 15 maio 2020.

YING, R. et al. Trophic Structure and Functional Diversity Reveal Pelagic-Benthic Coupling Dynamic in the Coastal Ecosystem of Daya Bay, China. **Ecological Indicators**, v. 113, p. 106241, 1 jun. 2020.

ZHANG, C. et al. Understanding Patterns of Taxonomic Diversity, Functional Diversity, and Ecological Drivers of Fish Fauna in the Mekong River. **Global Ecology and Conservation**, v. 28, p. e01711, 1 ago. 2021.

ZHANG, M.; CAI, Q.; QU, X. Impacts of Flood-Driven Water Level Fluctuations on Macroinvertebrate Assemblages in Different Zones of a Long and Narrow Subtropical Reservoir-Bay. **Quaternary International**, Large Asian Rivers 9: Part I. v. 440, p. 111–118, 10 jun. 2017.

## APÊNDICE A - MATERIAL SUPLEMENTAR

- T - Dados brutos dos índices funcionais dentro dos oito reservatórios analisados. Os reservatórios estão ordenados conforme a precipitação, em ordem crescente: Algodão, Camalaú, Lagoa do Remígio, Gavião, Chupadouro, Milhã, Pitombeira, Lagoa do Remígio e Lagoa do Matias

Reservior	Nb_sp	Nb_FE	F_redundancy	%	F_OverRedundancy	%	F_Vulnerability	%
r1	13	10	1.30	13.70%	0.18	20.00%	0.80	11.98%
r2	5	4	1.25	13.17%	0.15	16.67%	0.75	11.23%
r3	7	7	1.00	10.54%	0.00	0.00%	1.00	14.97%
r4	13	10	1.30	13.70%	0.16	17.78%	0.70	10.48%
r5	14	11	1.27	13.38%	0.17	18.89%	0.81	12.13%
r6	5	4	1.25	13.17%	0.15	16.67%	0.75	11.23%
r7	9	8	1.12	11.80%	0.09	10.00%	0.87	13.02%
r8	5	5	1.00	10.54%	0.00	0.00%	1.00	14.97%

- Informações adicionais sobre as entidades funcionais (FEs) encontradas dentro dos índices funcionais analisados. Aqui trazemos dados sobre a quantidade de FEs, a combinação de atributos que a compõe e a riqueza de espécies de cada entidade funcional.

FEs	abundância	hábito	estratégia	hemoglobina	dispersão	reprodução	larva	tamanho
1	3	vida livre	predador	ausente	passiva	isolado	curto	g2
2	1	vida livre	filtrador	presente	passiva	livre	longo	g2
3	1	vida livre	filtrador	presente	passiva	isolado	curto	g2
4	1	minerador	predador	ausente	passiva	isolado	longo	g2
5	2	minerador	predador	ausente	passiva	isolado	curto	g2
6	2	minerador	filtrador	presente	passiva	isolado	curto	g2
7	1	vida livre	predador	presente	passiva	isolado	longo	g2
8	1	vida livre	predador	ausente	ativa	livre	curto	g3
9	1	minerador	filtrador	presente	passiva	isolado	longo	g2
10	1	vida livre	predador	ausente	passiva	isolado	curto	g3
11	1	vida livre	filtrador	ausente	passiva	isolado	longo	g2
12	1	vida livre	filtrador	presente	ativa	isolado	curto	g2
13	2	minerador	filtrador	presente	ativa	livre	curto	g2
14	3	vida livre	predador	ausente	ativa	isolado	longo	g2
15	1	vida livre	predador	presente	ativa	isolado	longo	g3