



**unioeste**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSERVAÇÃO E MANEJO DE  
RECURSOS NATURAIS

Julio Cesar Cargnelutti Junior

**Efeito de variáveis de paisagem sobre a comunidade de macroinvertebrados  
em riachos do Baixo Iguaçu, nos municípios de Céu Azul, Santa Tereza do  
Oeste e Cascavel, no estado do Paraná**

Cascavel

2019

Julio Cesar Cargnelutti Junior

**Efeito de variáveis de paisagem sobre a comunidade de macroinvertebrados em riachos do Baixo Iguaçu, nos municípios de Céu Azul, Santa Tereza do Oeste e Cascavel, no estado do Paraná**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Conservação e Manejo de Recursos Naturais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador(a): Prof.(a) Ana Tereza Bittencourt Guimarães, Dr.(a)

Coorientador: Prof.(a) Luciano Lazarini Wolff, Dr.

Coorientador(a): Prof.(a) Lucíola Thais Baldan, Dr.(a)

Cascavel

2019

## RESUMO

A dimensão lateral de conectividade em um ecossistema lótico foi avaliada e verificada a influência sobre as comunidades de macroinvertebrados. Foram realizadas coletas em oito microbacias inseridas na bacia do Baixo Iguaçu, na região oeste do Paraná, áreas que apresentam um gradiente de vegetação. Para representar o componente lateral foram avaliadas métricas físicas e químicas da água, variáveis de paisagem e dados bioclimáticos. A análise de componentes principais foi aplicada com o intuito de sumarizar a estrutura interna dos dados e, em seguida, aplicado o índice de Moran para avaliar a autocorrelação espacial. Modelos lineares generalizados foram utilizados para verificar as relações entre a variável dependente (CPs atributos ecológicos) e as independentes (CPs físico-química, bioclimática e paisagem). Os modelos foram aplicados para testar a hipótese de que a condição do componente lateral prediz a distribuição da comunidade de macroinvertebrados, sugerindo que a dinâmica da comunidade é reflexo de variáveis locais da água dos riachos, como o grau de poluição local e composição do leito, bem como variáveis de paisagem, aqui representadas pela quantidade de vegetação e proximidade aos fragmentos de Mata Atlântica, e aspectos macroecológicos climáticos como temperatura e precipitação. Como recomendação para a conservação e manejo de ecossistemas lóticos sugerimos a maximização dos ambientes ripários com enfoque nas cabeceiras, para promover e assegurar condições adequadas à preservação da biota aquática.

**Palavras-Chaves:** Insetos aquáticos; Zona Ripária; Mata Atlântica.

## ABSTRACT

The lateral dimension of connectivity in a lotic ecosystem was assessed to determine its influence on macroinvertebrate communities. Sampling was conducted in eight microbasins within the Baixo Iguaçu basin in the western region of Paraná, areas that present a gradient of vegetation. To represent the lateral component, physical and chemical water metrics, landscape variables, and bioclimatic data were evaluated. Principal Component Analysis (PCA) was applied to summarize the internal structure of the data, followed by Moran's I index to assess spatial autocorrelation. Generalized Linear Models (GLMs) were used to examine the relationships between the dependent variable (ecological attributes of macroinvertebrates) and independent variables (physical-chemical, bioclimatic, and landscape components). The models were applied to test the hypothesis that the condition of the lateral component predicts the distribution of macroinvertebrate communities, suggesting that community dynamics reflect local stream water variables such as local pollution levels and bed composition, as well as landscape variables, represented here by the amount of vegetation and proximity to Atlantic Forest fragments, and macroecological climatic aspects such as temperature and precipitation. For the conservation and management of lotic ecosystems, we recommend maximizing riparian environments with a focus on headwaters to promote and ensure conditions favorable to the preservation of aquatic biota.

**Key-Words:** Aquatic Insects; Riparian Zone; Atlantic Forest.

**JÚLIO CESAR CARGNELUTTI JÚNIOR**

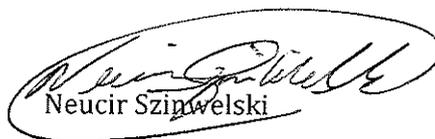
**A Qualidade da água e vegetação afetam diretamente à diversidade de macroinvertebrados em Riachos do Baixo Iguaçu.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Conservação e Manejo de Recursos Naturais em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Conservação e Manejo de Recursos Naturais, área de concentração Ciências Ambientais, linha de pesquisa Biologia Comparada e Indicadores de Qualidade No Ambiente Aquático, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



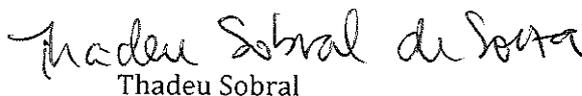
Orientador(a) - Ana Tereza Bittencourt Guimarães

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Neucir Szinwelski

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Thadeu Sobral

Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Cascavel, 25 de fevereiro de 2019.

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Cargnelutti Junior, Julio C.

Efeito de variáveis de paisagem sobre a comunidade de macroinvertebrados em riachos do Baixo Iguaçu, nos municípios de Céu Azul, Santa Tereza do Oeste e Cascavel, no estado do Paraná / Julio C. Cargnelutti Junior; orientadora Ana Tereza Bittencourt Guimarães. -- Cascavel, 2019.

20 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Conservação e Manejo de Recursos Naturais, 2019.

1. Zona ripária. 2. Insetos Aquáticos. 3. Mata Atlântica. 4. Modelos Lineares Generalizados. I. Bittencourt Guimarães, Ana Tereza, orient. II. Título.

## Efeito de variáveis de paisagem sobre a comunidade de macroinvertebrados em riachos do Baixo Iguaçu, nos municípios de Céu Azul, Santa Tereza do Oeste e Cascavel, no estado do Paraná

Julio Cargnelutti · Luciano Lazarini Wolff · Lucíola Thaís Baldan · Ana Tereza Bittencourt Guimarães

Received: date / Accepted: date

**Resumo:** A dimensão lateral de conectividade em um ecossistema lótico foi avaliada e verificada a influência sobre as comunidades de macroinvertebrados. Foram realizadas coletas em oito microbacias inseridas na bacia do Baixo Iguaçu, na região oeste do Paraná, áreas que apresentam um gradiente de vegetação. Para representar o componente lateral foram avaliadas métricas físicas e químicas da água, variáveis de paisagem e dados bioclimáticos. A análise de componentes principais foi aplicada com o intuito de sumarizar a estrutura interna dos dados e, em seguida, aplicado o índice de Moran para avaliar a autocorrelação espacial. Modelos lineares generalizados foram utilizados para verificar as relações entre a variável dependente (CPs atributos ecológicos) e as independentes (CPs físico-química, bioclimática e paisagem). Os modelos foram aplicados para testar a hipótese de que a condição do componente lateral prediz a distribuição da comunidade de macroinvertebrados, sugerindo que a dinâmica da comunidade é reflexo de variáveis locais da água dos riachos, como o grau de poluição local e composição do leito, bem como variáveis de paisagem, aqui representadas pela quantidade de vegetação e proximidade aos fragmentos de Mata Atlântica, e aspectos macroecológicos climáticos como temperatura e precipitação. Como recomendação para a conservação e manejo de ecossistemas lóticos sugerimos a maximização dos ambientes ripários com enfoque nas cabeceiras, para promover e assegurar condições adequadas à preservação da biota aquática.

**Palavras-Chaves** Insetos aquáticos · Zona Ripária · Mata Atlântica

---

Programa de Pós Graduação em Conservação e Manejo de Recursos Naturais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Rua Universitária  
Tel.: +55-45-32207350  
E-mail: cargneluttijulio@gmail.com

---

## Effect of Landscape Variables on the Macroinvertebrate Community in Streams of the Baixo Iguaçu Region, in the municipalities of Céu Azul, Santa Tereza do Oeste, and Cascavel, in the state of Paraná.

Julio Cargnelutti · Luciano Lazarini Wolff · Lucíola Thaís Baldan · Ana Tereza Bittencourt Guimarães

Received: date / Accepted: date

**Abstract:** The lateral dimension of connectivity in a lotic ecosystem was assessed to determine its influence on macroinvertebrate communities. Sampling was conducted in eight microbasins within the Baixo Iguaçu basin in the western region of Paraná, areas that present a gradient of vegetation. To represent the lateral component, physical and chemical water metrics, landscape variables, and bioclimatic data were evaluated. Principal Component Analysis (PCA) was applied to summarize the internal structure of the data, followed by Moran's I index to assess spatial autocorrelation. Generalized Linear Models (GLMs) were used to examine the relationships between the dependent variable (ecological attributes of macroinvertebrates) and independent variables (physical-chemical, bioclimatic, and landscape components). The models were applied to test the hypothesis that the condition of the lateral component predicts the distribution of macroinvertebrate communities, suggesting that community dynamics reflect local stream water variables such as local pollution levels and bed composition, as well as landscape variables, represented here by the amount of vegetation and proximity to Atlantic Forest fragments, and macroecological climatic aspects such as temperature and precipitation. For the conservation and management of lotic ecosystems, we recommend maximizing riparian environments with a focus on headwaters to promote and ensure conditions favorable to the preservation of aquatic biota.

**Key-Words** Aquatic Insects · Riparian Zone · Atlantic Forest

---

Programa de Pós Graduação em Conservação e Manejo de Recursos Naturais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Rua Universitária  
Tel.: +55-45-32207350  
E-mail: cargneluttijulio@gmail.com

---

## 1 Introdução

O manejo de ambientes lóticos tem como desafio a compreensão e o gerenciamento da poluição de fontes não pontuais, já que avaliar os impactos cumulativos da mudança do uso da terra em ambientes ripários é uma tarefa bastante complexa [12]. Considerando que padrões biológicos nos riachos são amplamente ajustados para os padrões físicos e controlados pelos mesmos, o problema para conservação e manejo desses ecossistemas estreita-se em entender como os padrões físicos se comportam e interferem sobre a biota ao longo do tempo e do espaço [15,12]. Para tal, se faz necessário uma abordagem ampla e integrativa que coloque os riachos, seus habitats e suas comunidades em um contexto geográfico mais amplo [27,12,19]. Neste sentido, assumimos que os ecossistemas aquáticos são organizados de acordo com uma hierarquia espacial (bacia de drenagem, seção, trecho, microhabitat) e que apresentam mudanças ao longo do tempo [12].

Uma característica dos ecossistemas lóticos é o seu alto nível de heterogeneidade espaço-temporal, heterogeneidade está manifestada através de vias interativas ao longo de quatro dimensões [33,1]. A dimensão longitudinal representa a ligação entre a jusante e montante. A lateral contempla a troca de matéria e energia entre o canal e o ambiente ripário. A vertical reúne as interações entre o canal e as águas subterrâneas. E por fim, o tempo faz a união entre as três dimensões espaciais. Sendo assim, a conexão entre os riachos e suas bacias acontece através do transporte lateral e longitudinal de matéria, energia e organismos provenientes do ambiente terrestre [33,1]. Essa relação entre o meio aquático e terrestre é intermediada pelo ambiente ripário, o qual possui um papel chave como elemento da paisagem, exercendo um controle regulatório substancial na vitalidade destes ambientes, além de atuar, geralmente, como controle do escoamento de sedimentos, nutrientes e poluentes [24,17].

No Brasil, a dependência econômica do setor agropecuário acelera a substituição de remanescentes florestais por pastagens, áreas agrícolas ou urbanas, o que pode ser considerada uma das principais ameaças à qualidade dos corpos d'água e biodiversidade [2,10]. Outro problema decorrente de ações antrópicas é a fragmentação florestal, processo que pode conduzir à extinção de espécies por meio do isolamento das populações nativas, aumento nos níveis de endogamia e conseqüentemente redução no número de indivíduos e/ou extinção local [9]. Uma das estratégias para frear o desmatamento e iniciar a recuperação de fragmentos florestais consiste nas "Áreas de Preservação Permanente"(APP), espaço onde a vegetação deve ser mantida intacta, garantindo a preservação dos recursos hídricos, da estabilidade geológica e da biodiversidade, bem como do bem estar das populações humanas. As APP's incluem os ambientes ripários e a legislação vigente (Código Florestal - 12.651/2012) define uma série de larguras mínimas para a preservação permanente de florestas e demais formas de vegetação natural em relação ao tamanho dos cursos d'água. No entanto, essa largura deveria variar de acordo com as características de cada local, como

topografia, solo, vegetação, clima, pluviosidade e outros fatores biológicos [20]. Ainda, os limites dessas Unidades de Conservação são frequentemente estabelecidos conforme os padrões da vegetação terrestre, enquanto a biota aquática é praticamente desconsiderada, o que pode ser um problema uma vez que não há uma reflexão sobre o efeito na cadeia alimentar e no equilíbrio do ecossistema [18]. As decisões atuais são muitas vezes minimalistas por se tratarem de aplicações sobre nosso amplo território nacional, sem avaliações dos seus diferentes ecossistemas.

As zonas ripárias são estudadas com diferentes abordagens, criando um diverso e, às vezes, confuso conjunto de definições baseadas em critérios hidrológicos, topográficos, edáficos, vegetativos, etc [13]. Esses ambientes ocupam uma das áreas mais dinâmicas da paisagem, podendo ser considerados como verdadeiros ecótonos que fornecem propágulos vegetais, bem como condições para a fauna e flora aquáticas [13]. É notável sua importância na regulação dos regimes de luz e temperatura; fornecimento de alimento para a biota terrestre e aquática; fonte de detritos lenhosos (o que influencia significativamente o deslocamento de sedimentos, a morfologia do canal e a formação de microhabitat); regulação do fluxo de água, nutrientes e poluentes das regiões adjacentes ao riacho; manutenção da biodiversidade (funcionam como corredores biológicos, facilitando o fluxo gênico ao longo da paisagem); além do aumento da conectividade lateral e longitudinal da biota e outros materiais [13,23,22]. No entanto, apesar da abundante literatura evidenciando a importância das zonas ripárias na determinação da qualidade da água e na manutenção da biodiversidade e higidez do ecossistema, determinar modelos que predigam o efeito da remoção ou restauração da vegetação ripária sobre os ecossistemas aquáticos ainda é uma tarefa difícil, em especial pela característica dinâmica e complexa desses ambientes.

O presente trabalho foi conduzido em microbacias inseridas na região Oeste do estado do Paraná, áreas estas que apresentam um gradiente de vegetação/lavoura, consistindo em um padrão de ocupação de solo bastante frequente em inúmeras regiões do mundo. A partir da investigação das comunidades de macroinvertebrados utilizados como bioindicadores, levantou-se o questionamento sobre o efeito do componente lateral da paisagem sobre os ecossistemas aquáticos. Os macroinvertebrados figuram entre os indicadores biológicos de higidez de ecossistemas aquáticos mais comumente utilizados [5,4], e isso se deve principalmente a fatores como: ciclos de vida suficientemente longos (o que favorece a detecção de alterações ambientais em tempo hábil); tamanho de corpo relativamente grande e de fácil amostragem; técnicas padronizadas e de baixo custo; ampla distribuição e alta diversidade [5,4]. Além disso, por serem amplamente estudados, as comunidades de macroinvertebrados parecem ter suas características previstas a partir do conhecimento da vegetação ripária, assim como sua composição, estrutura e seus atributos de funcionamento reagem de maneira previsível frente às alterações ambientais nas diferentes escalas espaciais e temporais [22]. Sendo assim, sugere-se a hipótese de que quanto melhor a

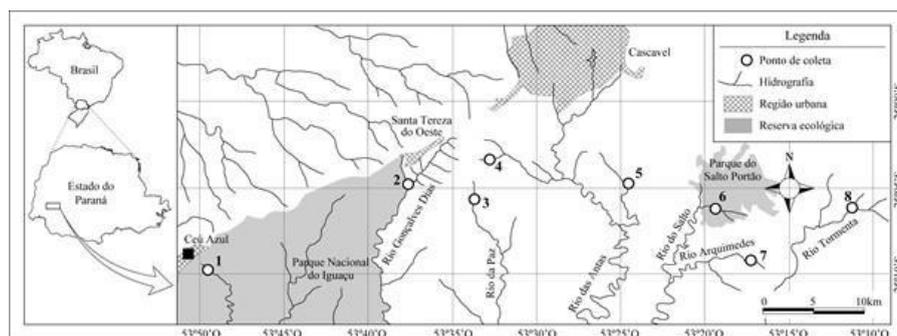
qualidade da água e mais íntegra a paisagem, mais diversificada será a comunidade de macroinvertebrados e consequentemente mais hígido será o ecossistema.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A região estudada está situada nos planaltos do Baixo Iguaçu e de Cascavel, subdivisões do terceiro Planalto Paranaense, entre as coordenadas gerais 25°09'38"S, 53°49'08"O e 25°06'82"S, 53°10'96"O, perfazendo um polígono total entre todas as microbacias de 425 km<sup>2</sup> e uma variação hipsométrica de 550 a 850 m. As microbacias fazem parte do sistema de drenagem do Rio Iguaçu, responsável pelo suprimento de água e geração de energia elétrica para vários municípios do Estado do Paraná. O Baixo Iguaçu é particularmente importante por abrigar algumas Unidades de Conservação, dentre elas o Parque Nacional do Iguaçu (ParNa Iguaçu). A região é composta principalmente pelas formações vegetacionais de Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Pluvial) e Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária), com clima predominante subtropical úmido.

As coletas foram feitas em 8 riachos de 2<sup>a</sup> ou 3<sup>a</sup> ordem: Manoel Gomes (mg), Jumelo (jum), Paz (paz), Nene (nen), Bom Retiro (br), Pedregulho (ped), Arquimedes (arq) e Tormenta (tor) (Figura 1). As coletas foram realizadas entre abril e maio de 2016 (outono).



**Figura 1** Mapa hidrográfico com indicação dos pontos de coleta (1-mg; 2-jum; 3-paz; 4-nen; 5-br; 6-ped; 7-arq; 8-tor).

### 2.2 Variável dependente

Com o objetivo de avaliar a integridade do ecossistema foi utilizado como variável resposta, atributos ecológicos calculados a partir da matriz de abundância das famílias de insetos aquáticos. Para tal, os indivíduos foram capturados em três tipos de substratos, cada qual com 3 réplicas, selecionados de acordo com a sua granulometria [30]. O substrato fino foi constituído por areia (2 a 4 mm) e cascalho (4.1 a 64 mm); o substrato grosso, por seixo (64.1 a 256 mm) e matacão (maiores que 256 mm) e o substrato folhiço (material vegetal alóctone, geralmente em

decomposição [14]). O procedimento foi realizado com a utilização de um Surber com malha de 500  $\mu\text{m}$  e área de 30x30 cm, com esforço amostral de dois minutos. A triagem e identificação foram realizadas com o auxílio de microscópio estereoscópico sendo os indivíduos identificados ao nível taxonômico de família [21,8,28,14]. Para cada réplica dos substratos foram calculados os atributos: riqueza (S)<sup>1</sup>, equitabilidade (J')<sup>2</sup>, Shannon-Wiener (H'), Simpson (1-D), Simpson Inverso (1/D) e Simpson Imparcial (rarefy).

### 2.3 Variáveis independentes

Para representar a qualidade da água foi utilizada como uma das variáveis explicativas, as métricas relativas aos fatores físicos (sólidos totais, temperatura, velocidade da água, largura e profundidade dos riachos) e químicos (oxigênio dissolvido, saturação oxigênio dissolvido, condutividade da água, pH, nitrito e ortofosfatos) da água. Para a coleta destas variáveis foi utilizada a sonda multiparâmetros HORIBA U-50 e posteriores avaliações no Laboratório de Qualidade de Água e Limnologia (LAQAL) da Universidade Federal do Paraná. Além disso, foram realizadas a medição do fluxo da água ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) por meio do deslocamento de um objeto flutuante, cronometrando-se o tempo das distâncias percorridas pelo flutuador, sendo registrada uma média para cada ponto amostral. Para obtenção da velocidade média do fluxo em metros por segundo, a distância percorrida foi dividida pelo tempo médio por meio da fórmula  $\Delta S/\Delta T$ , onde S representa a distância e T o tempo. A fim de caracterizar a composição do leito de cada riacho, o percentual de cada substrato (rocha contínua, matacão, seixo, cascalho, areia e folhiço) foi estimado visualmente de acordo com a proporção em cada ponto de coleta.

Em relação à representação da paisagem foram utilizadas imagens rasterizadas cedidas pelo Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC), da UNESP de Rio Claro, obtidas por meio da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Os rasters apresentavam resolução espacial de 30 arc-segundo (1 km) e referência elipsóide WGS84. A partir disso, utilizando as funções de um Sistema de Informações Geográficas (ArcGis), foram extraídas as seguintes variáveis explicativas: Áreas de remanescentes florestais de mata Atlântica, conectividade funcional (medida de fragmentação florestal em uma distância de 180 m), distância da borda e porcentagem de cobertura vegetal do Bioma Mata Atlântica por pixel e declividade. Além disso, com o intuito de representar o clima local em uma caracterização macroecológica, as variáveis bioclimáticas foram adicionadas ao estudo como variáveis explicativas. Elas foram obtidas por meio da base de dados Worldclim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)), com resolução espacial de 30 arc-segundo (1 km), correspondendo às médias do período de 1970 a 2000 (Tabela 1).

---

<sup>1</sup> Riqueza numérica = contagem de espécies

<sup>2</sup> Razão entre H' e a diversidade máxima possível, estimada em uma situação na qual todas as espécies possuem igual abundância.

**Tabela 1** Variáveis bioclimáticas obtidas na base de dados Worldclim.

Nome da variável	Código
T°C média anual*10	BIO1
Variação de temperatura média diurna	BIO2
Isotermalidade	BIO3
Sazonalidade da temperatura	BIO4
T°C máxima do mês mais quente*10	BIO5
T°C mínima do mês mais frio*10	BIO6
Variação de T°C anual	BIO7
T°C média do trimestre mais úmido*10	BIO8
T°C média do trimestre mais seco*10	BIO9
T°C média do trimestre mais frio*10	BIO10
T°C média do trimestre mais quente*10	BIO11
Precipitação total anual	BIO12
Precipitação do mês mais úmido	BIO13
Precipitação do mês mais seco	BIO14
Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)	BIO15
Precipitação do trimestre mais úmido	BIO16
Precipitação do trimestre mais seco	BIO17
Precipitação do trimestre mais quente	BIO18
Precipitação do trimestre mais frio	BIO19

## 2.4 Preparação dos dados e modelagem

Com a intenção de sumarizar a estrutura interna dos dados de uma forma que explique melhor sua variância, foi utilizada a Análise de Componentes Principais (PCA), a qual converte um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas em um agrupamento de valores de variáveis ortogonais, os componentes principais. Em outras palavras, convertemos dados brutos de atributos ecológicos, métricas físicas e químicas da água, variáveis da paisagem e bioclimáticas em componentes principais [35].

Para avaliação da autocorrelação espacial foi aplicado o Índice de Moran, que é a estatística mensurada a partir do produto dos desvios em relação à média. Este índice varia de -1 a +1, quantificando o grau de autocorrelação espacial existente, sendo positivo para correlação direta e negativo quando inversa. Esta análise testa se as áreas conectadas apresentam maior semelhança quanto às variáveis independentes do que o esperado num padrão aleatório [6].

A fim de verificar as relações entre a variável dependente (componentes principais dos atributos ecológicos) e as independentes (componentes principais das métricas físicas e químicas da água, variáveis de paisagem e bioclimáticas), foram executados modelos lineares generalizados (GLM), assumindo-se uma distribuição gaussiana. Os modelos foram aplicados com o intuito de testar a hipótese de que a condição/situação do componente lateral (qualidade da água, paisagem e clima) prediz a distribuição da comunidade de macroinvertebrados. Para ilustrar os resultados, as médias dos preditos do componente principal dos atributos ecológicos de cada localidade foram plotadas em mapas. Toda a rotina estatística foi realizada com o auxílio do software R [25].

### 3 Resultados

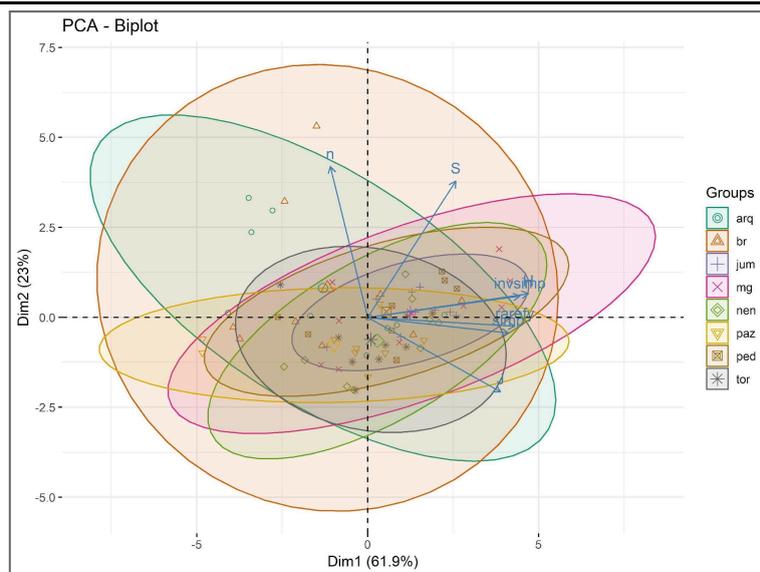
#### 3.1 Variável dependente

A amostra da fauna de macroinvertebrados foi composta por um total de 12.490 indivíduos, distribuídos em 47 famílias. Dentre estas, destaca-se as abundâncias para as seguintes famílias: Chironomidae (65.52%), Elmidae (7.96%), Caenidae (4.44%), Leptophlebiidae (3.66%) e por fim Hydropsychidae (3.41%). As localidades Jumelo, Manoel Gomes, Pedregulho e Nene exibiram de maneira semelhante valores maiores de diversidade de Shannon, Simpson Inverso e Rarefeito. Os riachos Jumelo, Manoel Gomes, Pedregulho e Arquimedes apresentaram o maior número de táxons. Por fim, os ambientes Nene, Manoel Gomes, Tormenta e Jumelo exibiram maiores valores de equitabilidade (Tabela 2).

A PCA sobre os atributos ecológicos revelou dois principais eixos de variação. O primeiro deles agrupou as variáveis de diversidade/heterogeneidade, Shannon, Simpson, Simpson Inverso e Simpson Imparcial e equitabilidade, explicando 61.9% da variação dos dados (Autovalor=2.08), sendo que tal agrupamento deveu-se primariamente aos valores das localidades Jumelo, Manoel Gomes, Pedregulho, Tormenta e Nene. O segundo eixo de variação teve como principais contribuintes de sua formação às variáveis riqueza e abundância, as quais estão relacionadas ao número de indivíduos coletados e explicaram 22.95% da variação total dos dados. Esse componente foi formado principalmente devido aos valores das localidades Bom Retiro e Arquimedes (Autovalor=1.27) (Figura 2).

**Tabela 2** Atributos ecológicos médios por localidade. H' (Shannon); 1-D (Simpson); 1/D (Simpson inverso); rarefy (Simpson rarefeito); S (riqueza); J (equitabilidade); e "n" (abundância). Leia-se: ped (Pedregulho); mg (Manoel Gomes); jum (Jumelo); arq (Arquimedes); nen (Nene); paz (Rio da Paz); tor (Tormenta); br (Bom Retiro).

Locais	ped	mg	jum	arq	nen	paz	tor	br
H'	1.37	1.53	1.62	0.92	1.19	0.91	1.20	0.95
1-D	0.62	0.65	0.68	0.40	0.57	0.58	0.57	0.42
1/D	3.21	4.18	3.47	2.13	2.83	2.43	2.57	2.29
rarefy	0.63	0.66	0.69	0.41	0.62	0.38	0.60	0.43
S	10.0	11.0	11.0	9.00	7.00	5.00	7.00	9.00
J	0.61	0.69	0.67	0.43	0.74	0.61	0.68	0.45
n	1385	953	834	3620	588	618	529	3963



**Figura 2** Diagrama de ordenação dos componentes principais referente aos atributos ecológicos. Vetores representam os índices: n (abundância); S (riqueza); simp (Simpson); invsimp (Simpson Inverso); rarefy (Simpson Imparcial); H' (equitabilidade).

### 3.2 Variáveis independentes

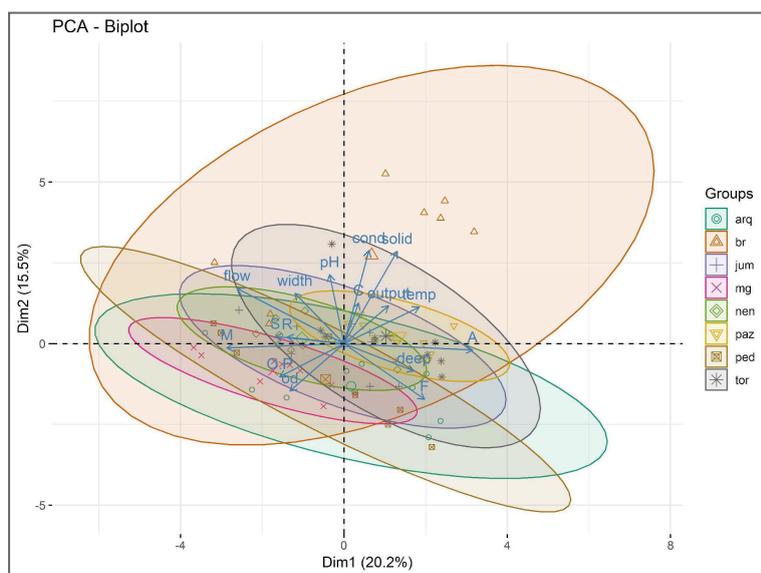
As métricas físicas de profundidade, largura, fluxo e vazão mostram que a maioria dos riachos se assemelha pela fisiografia, porém com maiores valores de profundidade e vazão observados no Rio da Paz (31.44 cm; 0.49 m.s<sup>-1</sup>) e os menores no Pedregulho (14.44 cm; 0.11 m.s<sup>-1</sup>). Os riachos Manoel Gomes (43%) e Tormenta (40%) têm seus leitos compostos principalmente de rocha contínua, sendo que, por outro lado, os ambientes Rio da Paz (48%), Arquimedes (45%), Tormenta (45%) e Bom Retiro (43%) são compostos principalmente de areia. Os riachos Pedregulho, Jumelo e Arquimedes possuem pelo menos 13% de seu leito composto por folhiço. As métricas nitrito e ortofosfato (O-P) indicam a presença de fertilizantes e, possivelmente, de agrotóxicos em todos os ambientes, com destaque para o Manoel Gomes (0.09 µg/L), que está localizado dentro do Parque Nacional do Iguaçu. As localidades Nene (7.4), Manoel Gomes e Rio da Paz apresentaram maiores valores de pH (7.4, 7.35, 7.31 respectivamente) e conseqüentemente maior condutividade elétrica e sólidos totais. Além disso, o riacho Manoel Gomes exibiu médias de temperatura mais baixas (13.46 °C) e maior nível de oxigênio dissolvido (10.56 mg/L) (Tabela 3).

A PCA sobre as métricas físicas e químicas mostrou que o primeiro componente teve sua composição representada principalmente pelas variáveis pH, condutividade, sólidos totais, nitrito, vazão e cascalho, que juntas representam o potencial hidrogeniônico da água e condições de maior poluição (Autovalor = 1.82, Explicabilidade = 20.63%). O segundo componente teve como principais

contribuintes de sua formação as variáveis oxigênio dissolvido, ortofosfato, profundidade, largura, fluxo, rocha contínua, matacões, seixos, areia, folhiço, fatores relacionados principalmente a fisiografia e composição do leito (Autovalor=1.75, Explicabilidade = 19.15) (Figura 3).

**Tabela 3** Valores médios das métricas físicas e químicas para os diferentes riachos. temp (temperatura); od (oxigênio dissolvido); cond (condutividade elétrica); solid (sólidos totais); O-P (organofosforados); deep (profundidade); width (largura); flow (fluxo); output (vazão).

	Pedregulho	Manoel Gomes	Jumelo	Arquimedes	Nene	Rio da Paz	Tormenta	Bom Retiro
temp	17.32	13.46	15.76	17.14	16.12	17.24	17.60	18.42
od	9.35	10.56	9.75	10.10	9.45	9.02	8.91	9.10
pH	6.78	7.35	7.24	6.54	7.40	7.31	7.17	7.18
cond	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.07
solid	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.04
nitrito	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.03
O-P	0.07	0.09	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05
deep	14.44	17.00	15.24	21.11	20.89	31.44	22.67	13.89
width	3.17	4.21	3.57	3.57	4.12	3.50	3.89	4.43
flow	0.28	0.19	0.24	0.21	0.30	0.25	0.13	0.36
output	0.11	0.28	0.25	0.15	0.10	0.49	0.25	0.26
Rocha	0.00	0.43	0.04	0.00	0.36	0.00	0.40	0.00
Matacão	0.28	0.24	0.10	0.24	0.28	0.00	0.06	0.09
Seixo	0.14	0.02	0.16	0.07	0.02	0.08	0.00	0.18
Cascalho	0.04	0.07	0.28	0.11	0.12	0.36	0.00	0.24
Areia	0.38	0.15	0.26	0.45	0.19	0.48	0.45	0.43
Folhiço	0.16	0.10	0.15	0.13	0.03	0.08	0.09	0.06



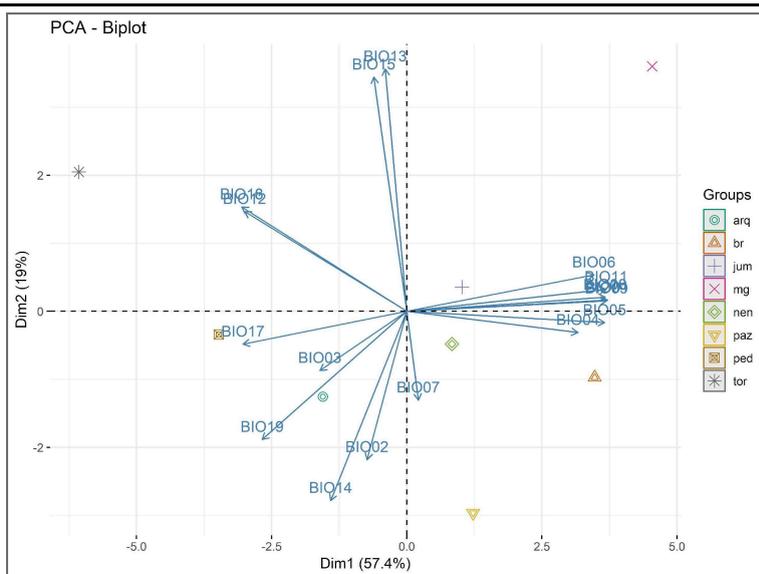
**Figura 3** Diagrama de ordenação dos componentes principais referente às métricas físicas e químicas. Os vetores representam: temp (temperatura); od (oxigênio dissolvido); cond (condutividade elétrica); solid (sólidos totais); O-P (organofosforados); deep (profundidade); width (largura); flow (fluxo); output (vazão); R (rocha contínua); M (matacão); S (seixo); C (cascalho); A (areia); F (folhiço).

Os dados bioclimáticos demonstram o clima característico da região tropical, sendo a média de temperatura anual equivalente a 18.29 °C, com uma variação média de 12.06 °C no período diurno e variação anual de 20.65 °C. A temperatura média do trimestre mais úmido foi de 21.91 °C, e no mais seco foi de 15.47 °C. A precipitação total anual foi de 1812 mm, verificando-se que no trimestre mais úmido foi de 537 mm e no mais seco de 373 mm (Tabela 4).

**Tabela 4** Dados bioclimáticos brutos por localidade - WorldClim. BIO01 (T °C média anual\*10); BIO02 (Variação de temperatura média diurna); BIO03 (Isotermalidade); BIO04 (Sazonalidade da temperatura); BIO05 (T°C máxima do mês mais quente\*10); BIO06 (T°C mínima do mês mais frio\*10); BIO07 (Variação de T°C anual); BIO08 T°C média do trimestre mais úmido\*10; BIO09 (T°C média do trimestre mais seco\*10); BIO10 (T°C média do trimestre mais frio\*10); BIO11 (T°C média do trimestre mais quente\*10); BIO12 (Precipitação total anual); BIO13 (Precipitação do mês mais úmido); BIO14 (Precipitação do mês mais seco); BIO15 (Sazonalidade da precipitação); BIO16 (Precipitação do trimestre mais úmido); BIO17 (Precipitação do trimestre mais seco); BIO18 (Precipitação do trimestre mais quente).

	Pedregulho	Manoel Gomes	Jumelo	Arquimedes	Nene	Rio da Paz	Tormenta	Bom Retiro
BIO01	17,97	18,83	18,37	18,16	18,31	18,42	17,63	18,60
BIO02	11,98	11,90	11,97	12,13	12,09	12,10	12,12	12,19
BIO03	58,74	58,05	58,66	58,62	58,70	58,17	58,25	58,06
BIO04	309,23	317,33	309,58	313,47	310,42	313,36	305,74	318,64
BIO05	27,60	28,50	28,00	27,90	28,00	28,20	27,40	28,50
BIO06	7,20	8,00	7,60	7,20	7,40	7,40	6,60	7,50
BIO07	20,40	20,50	20,40	20,70	20,60	20,80	20,80	21,00
BIO08	21,58	22,57	21,95	21,78	21,88	22,03	21,13	22,28
BIO09	15,20	15,97	15,62	15,33	15,52	15,58	14,83	15,72
BIO10	21,58	22,57	21,95	21,78	21,88	22,03	21,13	22,28
BIO11	14,08	14,88	14,48	14,22	14,42	14,48	13,78	14,58
BIO12	1831,00	1815,00	1802,00	1818,00	1801,00	1806,00	1838,00	1785,00
BIO13	207,00	219,00	207,00	205,00	205,00	202,00	215,00	202,00
BIO14	101,00	96,00	98,00	102,00	97,00	102,00	98,00	98,00
BIO15	21,22	22,43	21,53	21,09	21,36	20,33	22,76	21,59
BIO16	542,00	534,00	532,00	541,00	531,00	527,00	551,00	534,00
BIO17	381,00	369,00	370,00	378,00	367,00	375,00	378,00	366,00
BIO18	542,00	534,00	532,00	541,00	531,00	527,00	551,00	534,00

A PCA relativa aos dados bioclimáticos revelou que o primeiro componente teve contribuição entre os escores positivos das variáveis temperatura média anual, isotermalidade, sazonalidade da temperatura, temperatura máxima do mês mais quente, temperatura mínima do mês mais frio, temperatura média do trimestre mais úmido e do trimestre mais seco, e temperaturas médias do trimestre mais frio e quente, além de contribuição negativa da variável precipitação total anual, precipitação dos trimestres mais úmidos e mais secos, e precipitação dos trimestres mais quentes e mais frios. O primeiro componente representa basicamente a sazonalidade, com 57.4% da variação total dos dados (Autovalor=3.30). Já o segundo componente foi formado principalmente pelas variáveis variação precipitação do mês mais úmido e do mês mais seco, e sazonalidade da precipitação, fatores que representam as variações de temperatura e precipitação, explicando 19% da variação total (Autovalor=1.90) (Figura 4).



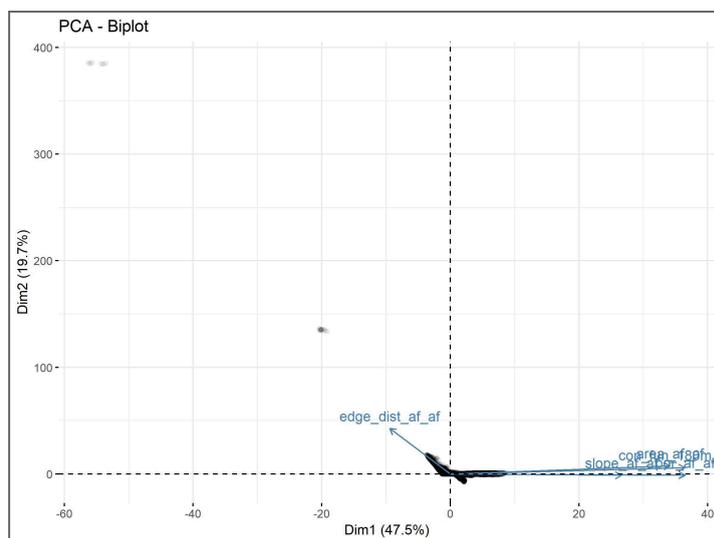
**Figura 4** Diagrama de ordenação dos componentes principais referente aos dados bioclimáticos. Os vetores representam: BIO01 (T °C média anual\*10); BIO02 (Variação de temperatura média diurna); BIO03 (Isotermalidade); BIO04 (Sazonalidade da temperatura); BIO05 (T°C máxima do mês mais quente\*10); BIO06 (T°C mínima do mês mais frio\*10); BIO07 (Variação de T°C anual); BIO08 T°C média do trimestre mais úmido\*10; BIO09 (T°C média do trimestre mais seco\*10); BIO10 (T°C média do trimestre mais frio\*10); BIO11 (T°C média do trimestre mais quente\*10); BIO12 (Precipitação total anual); BIO13 (Precipitação do mês mais úmido); BIO14 (Precipitação do mês mais seco); BIO15 (Sazonalidade da precipitação); BIO16 (Precipitação do trimestre mais úmido); BIO17 (Precipitação do trimestre mais seco); BIO18 (Precipitação do trimestre mais quente).

A análise da paisagem utilizando o SIG revelou um mosaico vegetacional, sendo que dois riachos possuem a maior parte de sua área ocupada por vegetação nativa (Pedregulho e Manoel Gomes) e os demais apresentaram menos de metade de sua área ocupada por vegetação não nativa. As localidades Manoel Gomes, Pedregulho e Arquimedes estão inseridas em um remanescente de mata atlântica, sendo que consequentemente apresentaram elevados valores de conectividade funcional e também valores negativos para distância da borda (Tabela 5).

A PCA sobre os dados de paisagem revelou dois principais componentes de variação, o primeiro deles agrupou as variáveis relacionadas à vegetação e o segundo a distância da borda. O primeiro eixo que explica 47.5% da variação total dos dados teve como principais contribuintes de sua formação as variáveis conectividade funcional, área de remanescente de mata de atlântica, percentual de vegetação e declividade (Autovalor=1.54). Já o segundo eixo é composto apenas pela variável distância da borda e explica 19.7% da variação total dos dados (Autovalor=0.99) (Figura 4).

**Tabela 5** Dados de variáveis de paisagem. Representação da paisagem calculada a partir de imagens rasterizadas cedidas pelo Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC) da UNESP de Rio Claro.

	Pedregulho	Manoel Gomes	Jumelo	Arquimedes	Nene	Rio da Paz	Tormenta	Bom Retiro
Área de Vegetação	3579	164673	0	971	0	0	0	0
Conect. Funcional	22500724	22500724	0	22500724	0	0	0	0
Distância da Borda	-408,044	-1889,047	84,853	-67,082	67,082	67,082	67,082	84,853
% de vegetação	95	100	8	45	21	46	15	22
Declividade	5,107	4,892	5,721	5,014	4,004	7,124	3,429	2,739

**Figura 5** Diagrama de ordenação dos componentes principais referente aos dados das variáveis de paisagem. Os vetores representam: area\_veg (área de vegetação); function (conectividade funcional); edge\_dist (distância da borda); %\_veg (% de vegetação); slope (declividade).

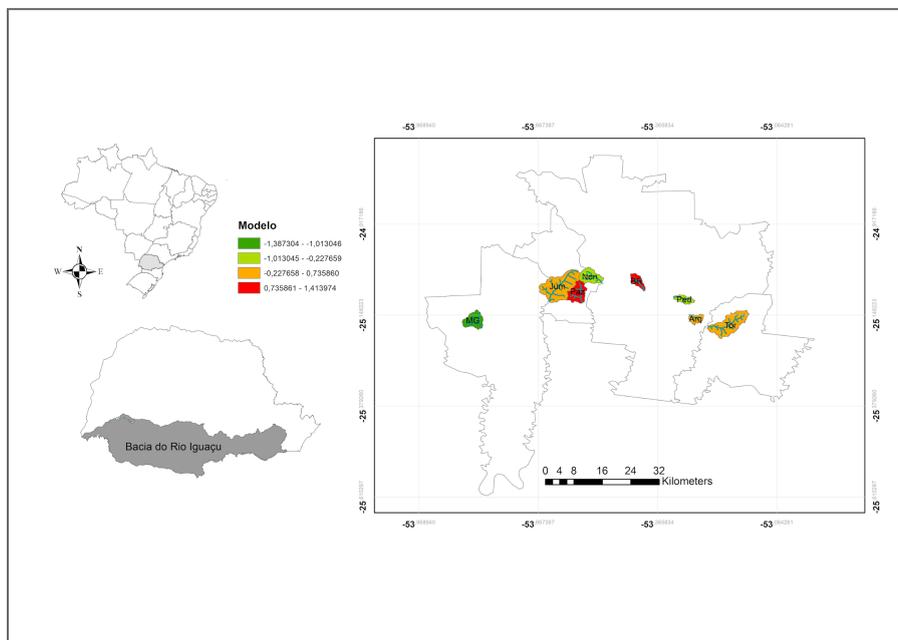
Após a seleção dos componentes principais, a variável dependente do modelo 1 foi definida como o primeiro componente (CP1) dos atributos ecológicos, sendo equivalente à diversidade, e a do modelo 2, foi o segundo componente (CP2) destes atributos, estando relacionada ao número de indivíduos. As variáveis independentes foram: CP1 e CP2 das métricas físicas e químicas da água (abióticos); CP1 e CP2 das variáveis bioclimáticas; e CP1 e CP2 das variáveis de paisagem.

A partir dos modelos gerados, foi possível verificar que a diversidade (CP1 dos atributos ecológicos) depende indiretamente do primeiro componente das métricas físicas e químicas da água, definido pelo potencial hidrogeniônico e poluição das águas, e diretamente do segundo componente abiótico, definido pela fisiografia e composição do leito. Tal fato indica, portanto, que a maior heterogeneidade/diversidade da comunidade ocorrerá em locais com pH mais neutros e com menor poluição (aqui definido pela concentração de O-P), assim como em riachos mais profundos nos quais o leito é preferencialmente composto de areia e folhiço. As demais variáveis explicativas (CP1 paisagem; CP2 paisagem; CP1 worldclim; e CP2 worldclim) estão indiretamente relacionadas com a variável

resposta de diversidade (Tabela 6), porém não foram consideradas estatisticamente significativas ( $p > 0.05$ ). A plotagem dos preditos do modelo I revelou que os ambientes mais íntegros foram Manoel Gomes, Nene e Pedregulho. As localidades Jumelo, Arquimedes e Tormenta foram classificadas como intermediárias, já o Bom Retiro e o Rio da Paz como ambientes com mais danos (Figura 6).

**Tabela 6** Quadro resumo do modelo linear generalizado para o primeiro componente principal dos atributos ecológicos.

Modelo I	Estimado	Erro padrão	t valor	p valor
(Intercepto)	13.637	8.837	1.543	0.1277
cp1 paisagem	-0.103	0.179	-0.576	0.5667
cp2 paisagem	-3.192	1.965	-1.625	0.1091
cp1 abiotic	-0.493	0.1423	-3.464	0.0009
cp2 abiotic	0.495	0.139	3.554	0.0007
cp1 worldclim	-3.444	2.250	-1.531	0.1307
cp2 worldclim	-2.883	2.985	-0.966	0.3377



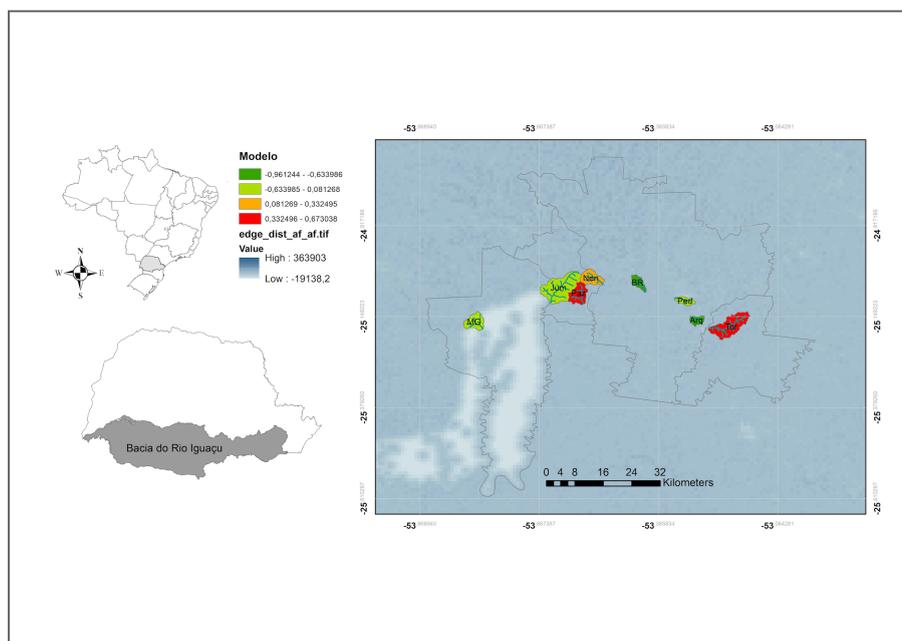
**Figura 6** Plotagem da média dos preditos do componente principal dos atributos ecológicos para o Modelo I. Localidades: MG (Manoel Gomes); Jum (Jumelo); Paz (Rio da Paz); Nen (Nene); BR (Bom Retiro); Ped (Pedregulho); Arq (Arquimedes); Tor (Tormenta).

Além disso, também foi possível verificar que o número de indivíduos (CP2 dos atributos ecológicos) depende diretamente do primeiro e segundo componentes da paisagem, definidos pelas variáveis que representam a vegetação e a distância da borda, respectivamente. O número de indivíduos também depende diretamente dos dois componentes bioclimáticos, definidos pelas variáveis que representam a sazonalidade e as variáveis de temperatura e precipitação. Tais resultados indicam que quanto maior o número de indivíduos da comunidade, esta ocorrerá em

ambientes com mais vegetação nativa e mais próximos de fragmentos de mata atlântica, assim como provavelmente ocorrerá em localidades com estações definidas e com amplas variações de temperatura e precipitação (Tabela 7). As variáveis explicativas composição do leito/ fisiografia (CP1 abiotic) e potencial hidrogeniônico (CP2 abiotic) respectivamente estão direta e indiretamente relacionadas com a variável resposta de número de indivíduos (Tabela 6), porém não foram consideradas estatisticamente significativas ( $p > 0.05$ ). Os preditos do modelo II, quando plotados no mapa, mostraram que os ambientes com maior número de indivíduos foram Arquimedes, Bom Retiro, Manoel Gomes, Pedregulho e Jumelo. As localidades Rio da Paz e Tormenta apresentaram o menor número de indivíduos coletados e o Nene com abundâncias intermediárias (Figura 7).

**Tabela 7** Quadro resumo do modelo linear generalizado para o segundo componente principal dos atributos ecológicos.

Modelo II	Estimado	Erro padrão	t valor	p valor
(Intercepto)	-20.899	5.824	-3.589	0.00006
cp1 abiotic	0.136	0.094	1.446	0.1529
cp2 abiotic	-0.134	0.092	-1.459	0.1495
cp1 paisagem	0.213	0.118	1.800	0.077
cp2 paisagem	4.611	1.295	3.561	0.0007
cp1 worldclim	5.296	1.483	3.571	0.0007
cp2 worldclim	5.211	1.967	2.649	0.010



**Figura 7** Plotagem da média dos preditos do componente principal dos atributos ecológicos para o Modelo II. Localidades: MG (Manoel Gomes); Jum (Jumelo); Paz (Rio da Paz); Nen (Nene); BR (Bom Retiro); Ped (Pedregulho); Arq (Arquimedes); Tor (Tormenta).

#### 4 Discussão

Na área de manejo e conservação de ambientes lóticos, um dos maiores desafios é avaliar os impactos cumulativos da mudança do uso da terra em ambientes ripários e tornar os projetos economicamente viáveis. O presente estudo utilizou uma abordagem multimétrica com o intuito de verificar as relações entre a comunidade de macroinvertebrados e a paisagem, bem como aspectos da macroecologia, determinando assim a integridade do ecossistema. Neste sentido, buscamos contribuir para o melhor entendimento da dinâmica destes ambientes e assim auxiliar na posterior elaboração de protocolos atualizados e ferramentas efetivas, práticas e de baixo custo que viabilizem a conservação e o manejo de nossos ecossistemas. Os resultados apresentados corroboram a hipótese de que uma paisagem íntegra resulta em uma comunidade de macroinvertebrados heterogênea e conseqüentemente em um ecossistema hígido. Contudo, tal hipótese só pode ser confirmada com a avaliação integrada das variáveis, que agem correlacionadas em um ecossistema.

Quando as métricas físicas e químicas da água foram avaliadas de forma isolada, verificamos que, mesmo os ambientes cujas paisagens são mais alteradas, não exibiram baixa qualidade da água ao compararmos os seus parâmetros com as condições estabelecidas pela resolução CONAMA 357/2005 [7] para os rios da Classe 2, o que pode vir a ser um grande problema visto que a maioria dos estudos devem seguir a metodologia menos conservadora e, portanto, chegar a resultados desejados por pessoas indesejadas. Rios de Classe 2 têm suas águas destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação, aquicultura e pesca. Mas, mesmo verificando que todos os riachos foram classificados de formas semelhantes quanto qualidade da água, observamos distintas características na comunidade de macroinvertebrados, sendo, portanto, um indicativo de que a relação das variáveis de paisagem e macroecológicas devem ser sumarizadas para uma melhor compreensão da dinâmica do ecossistema.

O modelo I mostrou que a diversidade/heterogeneidade depende indiretamente do grau de poluição da água e diretamente da composição do leito e fisiografia, ou seja, comunidades de macroinvertebrados homogêneas com elevado número de espécies estão associadas a ambientes com água de melhor qualidade, com menor concentração de poluentes (aqui avaliados pela concentração de ortofosfato e pH) e a locais mais profundos com a presença de areia e folhiço. De acordo com Riviera *et al.* [26], as diferenças observadas na comunidade de macroinvertebrados parecem estar associadas às variações espaciais na pressão antrópica, as quais puderam ser demonstradas pelos locais com menor distúrbio e que apresentavam maiores valores de oxigênio dissolvido, pH mais neutro, menos sólidos dissolvidos totais e, conseqüentemente, menor condutividade. A menor diversidade observada em locais com maior fluxo e com granulometria mais grossa do sedimento está relacionada à homogeneização do leito e conseqüente diminuição de micro-habitats. A homogeneização do leito é um problema sério

para a integridade dos cursos d'água em áreas desflorestadas, principalmente as que sofrem erosão, pois mesmo nos locais que apresentam boa qualidade química da água, a poluição física decorrente de partículas em suspensão pode reduzir em muito as condições de sobrevivência dos organismos [31]. O contrário torna-se verdadeiro, e a dinâmica de colonização por macroinvertebrados em substratos mais heterogêneos, como o folhiço, pode refletir a forma como estes utilizam o espaço multidimensional do ambiente [16]. O aporte de material alóctone aos riachos pode variar devido fenologia da vegetação ripária, retenção de mecanismos na zona de transição aquática-terrestre, bem como ao clima local, sendo evidente a interação de aspectos de paisagem e climáticos sobre a colonização da comunidade de macroinvertebrados [32]. Em riachos tropicais, a taxa de decomposição das folhas que compõem o folhiço depende da interação dos fatores físicos (como fluxo e temperatura), fatores químicos da água (nutrientes dissolvidos) e agentes biológicos. Além disso, devido elevada diversidade de plantas vasculares na região tropical, as características das folhas (dureza, conteúdo fenólico e outros aspectos químicos) contribuem para a elevada variação de taxa de decomposição, permitindo com que haja uma variedade de recursos alimentares em todas as estações do ano [32] e assim uma elevada diversidade biológica.

O modelo II mostrou que o número de indivíduos depende diretamente da vegetação do entorno, da distância da borda e da sazonalidade e variações térmicas/pluviométricas. Ou seja, as comunidades de macroinvertebrados com muitos indivíduos, e conseqüentemente com mais espécies [11], estão associadas a ambientes mais próximos dos fragmentos de mata Atlântica. Neste caso, a maior diversidade pode ser justificada devido à presença de ambientes ripários heterogêneos resultantes da proximidade dos fragmentos de mata atlântica. Já os baixos níveis de diversidade podem ser justamente resultado da fragmentação e perda de habitat neste bioma. A vegetação ripária pode ser considerada como um ecótono que fornece recursos e condições para a fauna aquática [13], garantindo a manutenção da biodiversidade ao atuar como corredores biológicos que facilitam o fluxo gênico ao longo da paisagem [13,23].

Além disso, a maior diversidade em ambientes com sazonalidade marcada e com amplas variações térmicas e pluviais pode ser explicada pelo conceito de estabilidade de ecossistemas e resiliência das comunidades. A variação de temperatura é atribuída como um importante fator que influencia a evolução de insetos aquáticos. Os insetos aquáticos respondem a todo o regime térmico, composto por padrões de temperaturas absolutas, amplitudes diárias e sazonais e taxas de mudança, todas superpostas às relações de fase com outros componentes ambientais, como o fotoperíodo. A história térmica a qual um organismo foi exposto molda as respostas organizacionais nos níveis orgânico, populacional e da comunidade, que se manifestam nas escalas de tempo ecológico e evolutivo [34]. Shah et al. [29] levantam a hipótese de que ambientes sazonais com grande variação térmica poderiam favorecer a evolução e aumentar a habilidade de aclimação quando comparados a ambientes que não apresentam estações marcadas e são termicamente estáveis.

Em suma, os resultados sugerem que a comunidade de macroinvertebrados é reflexo de variáveis locais da água dos riachos, como o grau de poluição local e a composição do leito, bem como das variáveis de paisagem, aqui representadas pela quantidade de vegetação e proximidade a fragmentos de mata Atlântica, além de aspectos macroecológicos climáticos como temperatura e precipitação. Neste sentido, reforçamos a importância e sugerimos a aplicação de abordagens multimétricas em detrimento dos índices saprobióticos clássicos para a determinação da qualidade ambiental. A avaliação ambiental com a utilização de índices bióticos tem sido fruto de uma longa história de uso sem questionamento e sem a devida compreensão sobre a dinâmica local [3]. Uma abordagem integrada a qual considera múltiplos parâmetros ecológicos e ambientais (como biodiversidade, qualidade da água, características do habitat, etc.), oferece uma visão mais abrangente da saúde do ecossistema ao contrário dos índices clássicos os quais normalmente focam em poucos parâmetros específicos, como a presença de certas espécies de organismos indicadores da poluição orgânica [21]. Ainda, podemos atingir maior sensibilidade e precisão ao detectar uma gama mais ampla de impactos e mudanças no ambiente, incluindo alterações sutis na qualidade da água e modificações no habitat que os índices saprobióticos podem não captar [21]. Ao avaliar diferentes dimensões de um ecossistema considerando a biodiversidade de maneira mais detalhada e compreensiva, levando em conta a diversidade de espécies, suas funções ecológicas e interações, adaptada a diferentes tipos de ecossistemas e condições ambientais, permitindo a personalização dos índices para diferentes contextos [3,19]. Além disso, a análise multimétrica possibilita a análise de tendências e padrões a partir de uma variedade de métricas, ajudando a identificar mudanças no ecossistema ao longo do tempo e suas causas, ao contrário dos índices clássicos que podem fornecer informações úteis sobre a qualidade da água em um momento específico, mas podem não captar bem as mudanças ao longo do tempo [12, 19, 24, 33]. Outras vantagens de uma abordagem mais ampla é a aplicação em diferentes escalas, ou seja, pode ser aplicada em diferentes escalas espaciais e temporais, desde pequenos córregos até grandes rios e bacias hidrográficas [33].

Essas vantagens tornam as abordagens multimétricas particularmente úteis para a gestão e conservação de ambientes aquáticos, proporcionando uma avaliação mais completa e precisa dos impactos ambientais e da saúde dos ecossistemas. Por fim, como recomendação para a conservação e manejo de ecossistemas lóticos sugerimos a maximização dos ambientes ripários com enfoque nas cabeceiras, para promover e assegurar condições adequadas à preservação da biota aquática.

---

## Referências

1. Allan, J.D., Castillo, M.M.: *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*, 2 ed. edn. Springer-Verlag, Dordrecht, The Netherlands (2007)
2. Barbier, E.B.: Deforestation, land degradation and rural poverty in Latin America: Examining the evidence. *Planejamento e Políticas Públicas* (18), 171 200 (1998)
3. Bonada, N., Prat, N., Resh, V.H., Statzner, B.: A Comparative Analysis of Recent Approaches. *Annual Review of Entomology* 51(1), 495 523 (2006). DOI 10.1146/annurev.ento.51.110104.151124. URL <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124>
4. Callisto, M., Gonçalves, J.F., Moreno, P.: *Invertebrados Aquáticos como Bioindicadores*. Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. 2005. p. 12 (2005)
5. Callisto, M., Moretti, M., Goulart, M.: Macroinvertebrados Bentônicos como Ferramenta para Avaliar a Saúde de Riachos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 6(1), 71 82 (2001)
6. Câmara, G., Monteiro, A.M., Druck, S., Carvalho, M.S.: Análise Espacial e Geoprocessamento. In: G. Câmara, A.M. Monteiro, S. Druck, M.S. Carvalho (eds.) *Análise Espacial de Dados Geográficos*, 1a ed., chap. 1, pp. 1 32. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo (2004). URL <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>
7. CONAMA: Resolução n° 357, 18 de março de 2005 (2005)
8. Costa, J.M., Souza, L.O.I., Oldrini, B.B.: *Publicações Avulsas do Museu Nacional*, n. 99 edn. Rio de Janeiro (2004)
9. Fagan, W.F.: Connectivity, fragmentation and extinction risk in dendritic metapopulations. *Ecology, Ecological Society of America* 83(12), 3243 3249 (2002)
10. Fearnside, P.M.: Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28(01), 23 38 (2001). DOI 10.1017/S0376892901000030
11. Fisher, R.A., Corbet, A.S., C.B.Williams: The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology* 12(1), 42 48 (1943). URL <https://fac.ksu.edu.sa/sites/default/files/sher1943a.pdf>
12. Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E., Hurley, M.D.: A Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification : Viewing Streams in a Watershed Context. *Environmental Management* 10(2), 199 214 (1986). DOI 10.1007
13. Gregory, S.V., Swanson, F.J., McKee, W.A., Cummins, K.W.: An Ecosystem Perspective of Riparian Zones. *BioScience* 41(8), 540 551 (1991). DOI 10.2307/1311607
14. Hamada, N., Jorge Luiz, N., Querino, R.B. (eds.): *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Editora do INPA, Manaus (2014)
15. Hynes, H.B.N.: The stream and its valley. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 19, 1 15 (1975)
16. Janke, Trivinho-Strixino, H.&.: Colonization of leaf litter by aquatic macroinvertebrates: a study in a low order tropical stream. *Tech. Rep. 1* (2007). URL [http://ablimno.org.br/acta/pdf/acta19\\_vol1\\_10.pdf](http://ablimno.org.br/acta/pdf/acta19_vol1_10.pdf)
17. Johnson, L., Richards, C., Host, G., Arthur, J.: Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. *Freshwater Biology* 37(1), 193 208 (1997). DOI doi:10.1046/j.1365-2427.1997.d01-539.x. URL <http://www.blackwellsynergy.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2427.1997.d01-539.x>
18. Maltchik, L.: *Ecologia de rios intermitentes tropicais. Perspectivas na Limnologia do Brasil* pp. 1 11 (1999)
19. Martel, N., Rodríguez, M.A., Bérubé, P.: Multi-scale analysis of responses of stream macrobenthos to forestry activities and environmental context. *Freshwater Biology* 52(1), 85 97 (2007). DOI 10.1111/j.1365-2427.2006.01674.x. URL <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2427.2006.01674.x>
20. Metzger, J.P.: O Código Florestal tem base científica? *Natureza & Conservação* 8(1), 92 99 (2010). DOI 10.4322/natcon.00801017
21. Mugnai, R., Nessimian, J.L., Baptista, D.F.: *Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do estado do Rio de Janeiro: Para atividades técnicas, de ensino e treinamento em programas de avaliação da qualidade ecológica dos ecossistemas lóticos* (2009)
22. Naiman, R.J., Decamps, H.: The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28(2), 621 658 (1997)

23. Naiman, R.J., Decamps, H., Pollock, M.: The Role of Riparian Corridors in Maintaining Regional Biodiversity. *Ecological Applications* 3(2), 209–212 (1993). DOI 10.2307/1941822. URL <http://www.jstor.org/stable/1941822>
24. Peterjohn, W.T., Correll, D.L.: Nutrient Dynamics in an Agricultural Watershed: Observations on the Role of A Riparian Forest. *Ecology* 65(5), 1466–1475 (1984). DOI 10.2307/1939127. URL <http://doi.wiley.com/10.2307/1939127>
25. R Development Core Team: R: A Language and Environment for Statistical Computing (2017). URL <https://www.r-project.org/>
26. Rivera-Usme, Rangel-Churio, Castro, M.I., Camacho-Pinzón: Biomass of macroinvertebrates and physicochemical characteristics of water in an Andean urban wetland of Colombia. *Braz. J. Biol* 75(1), 180–190 (2015). DOI 10.1590/1519-6984.10613. URL <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.10613>
27. Ross, H.H.: Stream communities and terrestrial biomes. *Arch. Hydrobiol.* 59, 235–242 (1963)
28. Segura, M.O., Valente-Neto, F., Alaíde de, &, Fonseca-Gessner, A.A.: Chave de famílias de Coleoptera aquáticos (Insecta) do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotropical* 11(1), 393–412 (2011)
29. Shah, A.A., Funk, W.C., Ghalambor, C.K.: Thermal Acclimation Ability Varies in Temperate and Tropical Aquatic Insects from Different Elevations. *Integrative and Comparative Biology* 57(5), 977–987 (2017). DOI 10.1093/icb/ix101. URL <https://academic.oup.com/icb/article-abstract/57/5/977/4565744>
30. Teixeira, W., Toledo, M.C.M., Fairchild, T.R., Taioli, F.: *Decifrando a Terra*. Oficina dos Textos, São Paulo (2000)
31. Wantzen, K.M., Pinto-Silva, V.: Uso de Substratos Artificiais para Avaliação do Impacto do Assoreamento sobre Macroinvertebrados Bentônicos em um Córrego de Cabeceira no Pantanal do Mato Grosso, Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 11(1), 99–107 (2006)
32. Wantzen, K.M., Yule, C.M., Jude, M., Pringle, C.M.: Organic-matter dynamics and processing in tropical streams Provided for non-commercial research and educational use only. Not for reproduction, distribution or commercial use. In: D. Dudgeon (ed.) *Tropical Stream Ecology*, January, chap. Chapter 3, pp. 43–64. Elsevier (2008)
33. Ward, J.V.: The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8(1), 2–8 (1989). DOI 10.2307/1467397
34. Ward, J.V., Stanfordl, J.A.: Thermal responses in the evolutionary ecology of aquatic insects. *Annu.Rev.Entomol.* 27, 97–117 (1982). URL [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)
35. Jolliffe, I.T., 2002. Principal Components in Regression Analysis. In: *Principal Component Analysis*, 2nd ed. Springer Series in Statistics, Springer, New York, pp. 167–198.

## CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo investigar a influência das variáveis ambientais locais e de paisagem na comunidade de macroinvertebrados em riachos de Mata Atlântica, além de comparar a eficácia de abordagens multimétricas em relação aos índices saprobióticos clássicos na avaliação da qualidade ambiental. Os resultados obtidos confirmam a hipótese de que a comunidade de macroinvertebrados é significativamente influenciada tanto por fatores locais, como a composição do leito e o grau de poluição, quanto por fatores de paisagem, como a cobertura vegetal e a proximidade a fragmentos de mata. Além disso, observou-se que variáveis macroecológicas, como temperatura e precipitação, também desempenham um papel crucial na determinação da composição dessas comunidades.

A análise comparativa das abordagens multimétricas e dos índices saprobióticos revelou que as primeiras oferecem uma visão mais abrangente e sensível da saúde dos ecossistemas aquáticos, permitindo a detecção de uma gama mais ampla de impactos ambientais. Em particular, as abordagens multimétricas se mostraram superiores na identificação de mudanças sutis na qualidade da água e no habitat, algo que os índices clássicos frequentemente não captam com a mesma precisão.

Entretanto, é importante reconhecer algumas limitações deste estudo. A amostra foi restrita a riachos de uma única região da Mata Atlântica, o que pode limitar a generalização dos resultados para outros biomas ou condições ambientais. Além disso, as abordagens multimétricas, embora promissoras, exigem uma maior complexidade de análise e um volume de dados mais substancial, o que pode ser um desafio em regiões com recursos limitados para monitoramento ambiental.

Para futuras pesquisas, recomenda-se a expansão do estudo para incluir diferentes biomas e condições ambientais, bem como a aplicação de abordagens multimétricas em contextos onde os recursos são mais escassos, para avaliar sua viabilidade e eficácia em larga escala. Além disso, estudos longitudinais seriam valiosos para investigar como as mudanças climáticas e outras pressões ambientais de longo prazo podem influenciar a saúde dos ecossistemas aquáticos e a eficácia das ferramentas de avaliação utilizadas.

Em suma, este trabalho contribui para a literatura ao destacar a importância de abordagens integradas na avaliação ambiental e sugere que a adoção de métodos multimétricos pode representar um avanço significativo na gestão e conservação de ambientes aquáticos, especialmente em ecossistemas complexos e diversificados como a Mata Atlântica.