

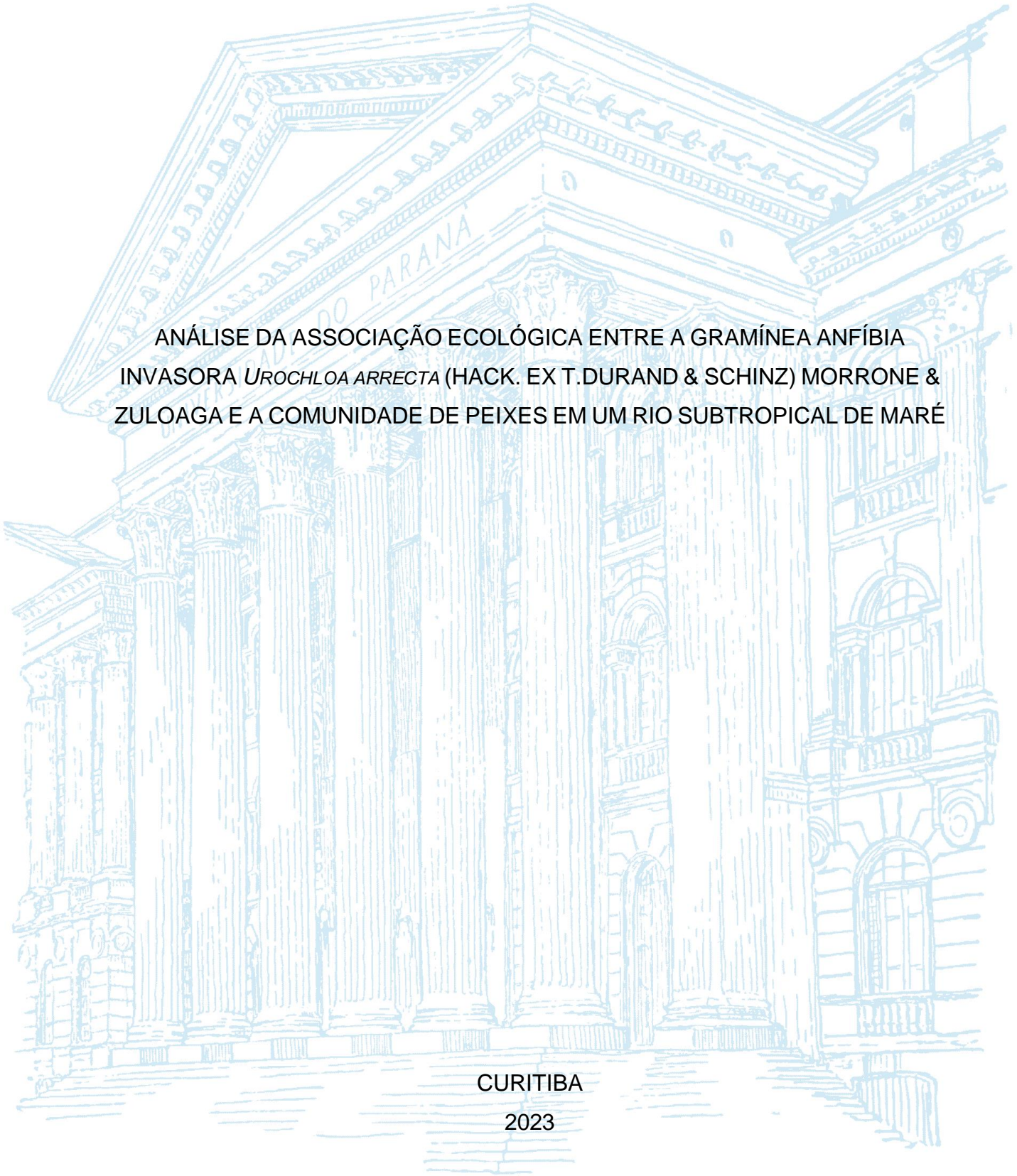
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

INGRYD KREIS HOFFMANN

ANÁLISE DA ASSOCIAÇÃO ECOLÓGICA ENTRE A GRAMÍNEA ANFÍBIA
INVASORA *UROCHLOA ARRECTA* (HACK. EX T.DURAND & SCHINZ) MORRONE &
ZULOAGA E A COMUNIDADE DE PEIXES EM UM RIO SUBTROPICAL DE MARÉ

CURITIBA

2023



INGRYD KREIS HOFFMANN

ANÁLISE DA ASSOCIAÇÃO ECOLÓGICA ENTRE A GRAMÍNEA ANFÍBIA
INVASORA *UROCHLOA ARRECTA* (HACK. EX T.DURAND & SCHINZ) MORRONE &
ZULOAGA E A COMUNIDADE DE PEIXES EM UM RIO SUBTROPICAL DE MARÉ

Trabalho apresentado à disciplina de Estágio
Supervisionado em Biologia como requisito básico
para a apresentação do Trabalho de Conclusão de
Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas
pela Universidade Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Andre Adrian Padial

Curitiba

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais Marisa e Vanduir por sempre me apoiarem, me dar amor e me ajudarem nos momentos difíceis.

A minha namorada Andreia que está sempre me incentivando e me apoiando.

Aos amigos que fiz na graduação: Giuliana, Kátia, Yasmin, Carol e principalmente Vinícius e Ana Gabriela que estiveram do meu lado desde o primeiro período, sendo os melhores amigos que eu poderia ter encontrado, além de melhor trio de estudo, laboratório e momentos de descontração.

Ao professor Andre Padial que além de ter uma boa didática em suas aulas foi um ótimo orientador sempre disposto a ajudar e explicar o que fosse preciso.

Ao Fernando Matos e o professor Paulo Labiak e por todo o ensinamento no período que trabalhei no herbário e posteriormente na iniciação científica.

A UFPR por me proporcionar ótimas experiências.

Por fim, agradeço a todos os professores do curso de Ciências Biológicas pelo conhecimento adquirido nesses anos.

RESUMO

A gramínea *Urochloa arrecta* (HACK. EX T.DURAND & SCHINZ) MORRONE & ZULOAGA, já vem sendo estudada e apontada como uma espécie invasora no Brasil com grande impacto no equilíbrio de ecossistemas aquáticos onde ela ocorre. O rio Guaraguaçu, no estado do Paraná, é um desses locais onde a gramínea se instalou e compete com outras macrófitas locais. Com o objetivo de ampliar os conhecimentos sobre o impacto da *U. arrecta*, o presente estudo avaliou a relação entre locais dominados por essas espécies invasoras e a diversidade de peixes. Foi estimada a riqueza de espécies de peixes no rio e verificou-se se a amostragem presente neste estudo condiz com a diversidade. Também foi avaliado se a diversidade de peixes é significativamente diferente em locais dominados pela planta invasora. Os resultados obtidos demonstram que a diversidade de peixes responde à expansão da comunidade da gramínea invasora. Porém, ao contrário do esperado, foi observado maior diversidade de peixes nas áreas mais afetadas e menor nas regiões com vegetação nativa.

Palavras-chave: *Urochloa arrecta*. Diversidade de peixes. Macrófita. Espécie invasora. Rio Guaraguaçu.

ABSTRACT

The tanner grass *Urochloa arrecta* (HACK. EX T.DURAND & SCHINZ) MORRONE & ZULOAGA, has already been studied and identified as an invasive species in Brazil with a great impact on the balance of the aquatic ecosystems where it occurs. The Guaraguaçu River, in Paraná, is one of those places where the grass has settled and competes with other local macrophytes. With the aim of increasing knowledge about the impact of *U. arrecta*, the present study evaluated the relationship between sites dominated by these invasive species and fish diversity. The richness of fish species in the river was estimated and it was verified whether the sampling present in this study is consistent with the diversity. It was also evaluated whether fish diversity is significantly different in sites dominated by the invasive plant. The results obtained demonstrate that fish diversity responds to the expansion of the invasive grass community. However, contrary to expectations, a greater diversity of fish was observed in the most affected areas and less in regions with native vegetation.

Keywords: *Urochloa arrecta*. Fish diversity. Macrophyte. Invasive species. Guaraguaçu river.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Rio Guaraguaçu e distribuição dos pontos de coleta Referência: Galvanese et al. 2022	17
Figura 2: Curva de acumulação de espécies de peixes nas amostragens feitas ao longo do espaço e do tempo no rio Guaraguaçu.....	21
Figura 3: Diversidade de Shannon-Wiener da comunidade de peixes em diferentes pontos do rio Guaraguaçu.....	23
Figura 4: Riqueza de espécies da comunidade de peixes em diferentes pontos do rio Guaraguaçu	23
Figura 5: Equidade de Pielou da comunidade de peixes em diferentes pontos do rio Guaraguaçu	24
Figura 6: Similaridade entre os períodos amostrais da comunidade de peixes do rio Guaraguaçu	24
Figura 7: Similaridade da composição dos locais de coleta da comunidade de peixes no rio Guaraguaçu	25
Figura 8: Similaridade da comunidade de peixes em diferentes pontos do rio Guaraguaçu comparando as porção impactadas	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: dados fornecidos pelo LASB da UFPR, listando as espécies de peixes coletados; o setor em que esses peixes foram coletados; presença ou ausência da espécie invasora <i>Urochloa arrecta</i> (Hack. Ex T.Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga; e os períodos que cada espécie foi encontrada no rio Guaraguaçu.	20
Tabela 2: Estimativa de riqueza de espécies de peixes para o rio Guaraguaçu	21
Tabela 3: Análises de variância com permutações testando a variação espacial e temporal na diversidade de peixes no rio Guaraguaçu, em três setores de amostragens, com e sem a presença da espécie de planta invasora <i>Urochloa arrecta</i> (Hack. ex T. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga, e ao longo de três períodos de amostragem	22

SIGLAS E SIMBOLOS

Σ - Somatório

/ - Divisão

Apa – Área de Proteção Ambiental

Dilu - Local com impacto diluído

Esec - Estação Ecológica de Guaraguaçu

H' - Índice de Shannon;

Impa - Local impactado

Lasb - Laboratórios de Análise e Síntese em Biodiversidade

Lec – Laboratório de Ecologia e Conservação

Ln – Logaritmo natural ou neperiano

Mang - Local de mangue

NmDs - Non-Metric Multidimensional Scaling (Tradução: Análise de escalonamento não-métrico)

S = Número de espécies na comunidade analisada.

Unesco – Organização Das Nações Unidas Para a Educação a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 RIO GUARAGUAÇU	13
2.2 INVASÃO BIOLÓGICA DE <i>UROCHLOA ARRECTA</i>	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 ORIGEM DOS DADOS	17
3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS	18
4 RESULTADOS	21
5 DISCUSSÃO.....	26
6 CONCLUSÃO	27
7 REFERENCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o país com a maior biodiversidade aquática do mundo, porém, ela vem sendo cada vez mais ameaçada em decorrência de ações antropogênicas como: atividade pesqueira, construção de barragens, redução de mata ciliar e introdução de espécies exóticas (Azevedo-Santos et al. 2021).

O estado do Paraná possui dois grandes complexos hidrográficos, separados pela serra do mar, a bacia hidrográfica do rio Paraná e a bacia do Atlântico, ou leste. O rio Guaraguaçu está localizado na bacia hidrográfica leste do estado do Paraná. Este rio possui grande importância ecológica por compor a paisagem de um dos maiores estuários do sul do Brasil, o complexo 'Lagamar', reconhecido pela UNESCO como um dos patrimônios naturais mundiais (<https://whc.unesco.org/>). Além disso, o rio tem importância central como fonte de água para a população que mora em suas margens e nos municípios próximos (Sato et al. 2021).

Durante o verão, as altas temperaturas e o aumento de material orgânico no rio, provenientes de um maior número de visitantes no litoral, gera um aumento no crescimento de plantas aquáticas no curso do rio de forma geral (Araújo et al. 2020), provavelmente influenciando também na biodiversidade aquática de outras comunidades.

As macrófitas são plantas aquáticas importantes para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos continentais (Cunha e Thomaz 2010). Estas servem como refúgio para presas, local de reprodução, auxiliam a diminuir a perturbação em águas com bastante sedimento, entre outros benefícios. Um aumento excessivo de braquiárias, entretanto, pode gerar diversos problemas como alteração de condições ambientais locais e diminuição da diversidade (Thiemer et al. 2021)

No rio Guaraguaçu há uma presença dominante de *Urochloa arrecta* (Hack. ex T. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga., uma macrófita invasora da família Poaceae. Essa espécie é proveniente da África, e foi introduzida no ecossistema em parte do Brasil a muitos anos, quando navios trazendo escravos, trouxeram essas plantas como colchão para escravos. Mais tarde, essa gramínea foi intensamente utilizada como pasto de búfalos no litoral do Paraná, causando a invasão dessa espécie em ambientes aquáticos como as margens do Rio Guaraguaçu. Em trechos

do rio com baixa salinidade o desenvolvimento e expansão dessa espécie vegetal ocorreu de forma intensa, apresentando um risco iminente para a fauna e flora local (Araújo et al. 2021). Atualmente estas Poaceae se desenvolvem melhor em ambientes com baixa salinidade, porém, é possível que ocorra adaptação em ambientes com maior salinidade e, desta forma, essas plantas poderão ocupar todo o leito do rio (Bora et al. 2020).

Já foi demonstrado o efeito dessa espécie na diminuição da diversidade de plantas aquáticas em diversas escalas espaciais e temporais (Sato et al. 2021; Galvanese et al. 2022). Além disso, Valentim (2021) sugere que o aumento da *U. arrecta* interfere na dieta de peixes, que possuem menor amplitude de nicho e diversidade quando comparados com aqueles associados à macrófitas nativa. Este estudo buscou analisar de que forma o crescimento e homogeneização da *Urochloa* está influenciando na diversidade de espécies de peixes no rio Guaraguaçu.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Testar se a composição e diversidade de peixes no rio Guaraguaçu está sendo influenciada pela presença de *Urochloa arrecta*.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar a diversidade de peixes em porções com *U. arrecta* com porções onde predomina vegetação nativa
- Realizar análise quantitativa da diversidade de peixes nas diferentes porções do rio Guaraguaçu utilizando software estatístico R
- Realizar análise quantitativa da diversidade de peixes em 3 períodos de coleta realizadas no rio Guaraguaçu, por meio do software estatístico R.
- Analisar a interação entre período do ano dependendo do local e da presença de *U. arrecta* com base em resultados estatísticos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Localizado na bacia hidrográfica do Atlântico, o rio Guaraguaçu é um importante berço para espécies de peixes e para a população humana devido ao seu uso em atividades pesqueiras, ecoturismo e fonte de água. Existe, entretanto, a invasão de *U. arrecta* ao longo do leito do rio, principalmente em porções onde existe maior interferência humana.

O monitoramento dessa área ainda é baixo, com dados de coleta feito pelos Laboratórios de Análise e Síntese em Biodiversidade (LASB) e Ecologia e Conservação (LEC) da Universidade Federal do Paraná desde 2018, tendo uma pausa no ano de 2020 até 2022 por causa da pandemia de Covid-19. Esses primeiros dados, que foram analisados no presente estudo, demonstram que o rio está em risco ambiental, com alteração da fauna causada pela invasão de *U. arrecta* que é favorecida pela interferência humana aumentando a reprodução dessa espécie invasora de planta vinda da África. Nesse sentido, o presente estudo buscou demonstrar os impactos ambientais que vem ocorrendo a fim de alertar sobre a necessidade de monitoramento para preservação desse rio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 RIO GUARAGUAÇU

Localizada no estado do Paraná, a bacia hidrográfica do Atlântico é a segunda maior do estado com 14.674km². Também conhecida como bacia hidrográfica do Leste, ela é dividida em 6 sub-bacias (Svolenski et al. 2000). Entre estas está a sub-bacia do Guaraguaçu, a quarta maior da Bacia Atlântica, com uma área de aproximadamente 280km², clima tropical superúmido com chuva distribuída ao longo do ano e temperatura média entre 17 e 21 °C. A sub-bacia recebe esse nome por abrigar o maior rio da bacia leste, de nome homônimo (Elste et al. 2019, Vitule et al. 2006).

Considerado hotspot de Biodiversidade, a Mata Atlântica abriga o conjunto de estuários do Sul-Sudeste do Brasil, denominado Lagamar, que é considerado um Patrimônio da Humanidade pela Unesco (<https://whc.unesco.org/en/list/893/maps/>). As múltiplas nascentes do Rio Guaraguaçu estão localizadas na Serra do Mar, à 766m acima do nível do mar, dentro de uma área de proteção ambiental denominada Parque Nacional de Saint-Hilaire/Hugo Lange (Svolenski et al. 2000, Araújo et al. 2021, Vitule et al. 2006). Caracterizado por suas águas escuras com altos teores de compostos húmicos, o rio Guaraguaçu possui gradiente longitudinal nos seus 60km de extensão com micro habitats distintos ao longo do curso do rio, até desaguar na baía de Paranaguá. Caracterizado por ser uma região de mangues, a foz do rio Guaraguaçu funciona como berçário de peixes e corredor de aves e mamíferos. (Araújo et al. 2021, Elste et al. 2019, Galvanese et al. 2022).

Com cerca de 46 espécies de macrófitas (Araújo et al. 2021). O rio Guaraguaçu divide-se em 3 zonas distintas. A primeira, próximo a nascente, é a mais conservada e por vezes chamada de “caixetal”, a zona intermediária recebe interferência antrópica e, por isso, se caracteriza por ter a maior degradação da água; e a terceira porção, na foz do rio, caracterizada pelos mangues e aumento da salinidade por estar mais próxima ao mar (Galvanese et al. 2022).

Na primeira porção do rio, encontra-se uma grande área navegável, com cerca de 30m de largura, águas transparentes, baixa influência da maré, e ocorrência de árvores que constam na lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção, como a

Tabebuia cassinoides (Lam.) DC, conhecida popularmente como caixeta, o que dá o nome popular dessa porção como “caixetal” (Galvanese et al. 2022).

A segunda porção do rio Guaraguaçu é a zona com maior influência de estressores antrópica ao longo do rio, servindo tanto como fonte de abastecimento de água para as cidades de Matinhos e Pontal do Paraná; quanto receptor de efluentes domésticos dessas cidades (Araújo et al. 2021; Elste et al. 2019). Existe uma rede artificial de canais, construídos durante o loteamento dos balneários, que recebe tanto os efluentes tratados pela estação de esgoto quanto os efluentes diretos de áreas sem saneamento ou de ocupações irregulares. Como demonstrado no trabalho de Elste et al. (2019) apesar da influência do sistema de esgoto, a principal fonte de contaminação do Guaraguaçu vem do vazamento de chorume do Aterro Sanitário utilizado pelos municípios de Matinhos e Pontal do Paraná. A rede de canais ligada aos municípios, unem-se em outro canal artificial que segue o antigo curso do rio Pery, unindo-se ao rio Guaraguaçu na porção intermediária da bacia, e alterando a composição de espécies vegetais dessa porção (Araújo et al. 2021, Elste et al. 2019).

A terceira zona do rio Guaraguaçu, a jusante, passa pela unidade de conservação, chamada de ‘Estação Ecológica do Rio Guaraguaçu’, até chegar a um manguezal na Baía de Paranaguá, e é a porção que sofre maior influência das marés, podendo ter uma alteração de até 3m em relação ao nível do mar. O trecho final do rio é um importante estuário, servindo como corredor de aves e mamíferos e, ainda, como berçário para diversas espécies de peixes. (Araújo et al. 2021, Elste et al. 2019, Sato et al. 2021).

A vegetação aquática do Guaraguaçu, é atualmente dominada por espécies classificadas como altamente invasoras por sua capacidade de colonização e estabelecimento, como as não nativas *U. arrecta* (hack. Ex t. Durand & schinz) e *Hedychium coronarium* J. König; e mesmo nativas com alto potencial invasor como *Pontederia (eichhornia) crassipes* (mart.) Solms-laub e *Pistia stratiotes* L. . A alta liberação de nutrientes provenientes dos sistemas de esgoto e do aterro, na porção intermediária, favorecem o crescimento e dispersão destas espécies vegetais, e os sinais já podem ser observados, como por exemplo, o favorecimento do bagre invasor *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) e a área ocupada por *U. arrecta* nesta parte do rio que pode atingir centenas de metros de comprimento e 50 de metros de largura enquanto no restante do rio sua distribuição é bem menor ou nula (Araújo et

al. 2021, Elste et al. 2019 e Galvanese et al. 2022) . Como os resultados obtidos por Reis (2015) demonstram, a partir das concentrações de íons nitrito e nitrato, o rio Guaraguaçu já sofre degradação, principalmente na sua porção intermediária. Caso esses impactos atinjam à área a jusante, haverá diversas consequências nas atividades econômicas de pesca e turismo dessa região, representando contaminação do alimento e/ou disseminação de vetores epidemiológicos (Elste et al. 2019).

2.2 INVASÃO BIOLÓGICA DE *Urochloa Arrecta*

Macrófitas são plantas fundamentais para estruturação de ecossistemas aquáticos, principalmente de água doce, oferecendo alimento, refúgio e locais reprodutivos para diversos animais, como peixes e macroinvertebrados e influenciando diretamente nas interações predador-presa (Sato et al. 2021, Thomaz et al. 2022). Dessa forma, a biodiversidade aquática depende da colonização e estabelecimento dessas plantas aquáticas (Araújo et al. 2021), por exemplo áreas com um nível intermediário ou elevado de macrófitas auxiliam no sucesso de comunidades de peixes, fornecendo um habitat principalmente para os estágios iniciais de vida (Thomaz et al. 2022).

A alta capacidade de colonização de algumas macrófitas, junto ao rápido crescimento vegetativo e reprodutivo podem ter efeito negativo quando ocorre inserção de espécies exóticas em alguns ecossistemas, colocando-as entre as piores invasoras de ambientes aquáticos (Bora et al. 2020; Sato et al. 2021). Esse processo de invasão é mais acentuado quando as espécies não nativas são inseridas em ambientes com grande distúrbio antrópico, podendo causar perda direcional de espécies endêmicas, tanto por competição quanto por alteração de habitat, favorecendo espécies invasoras generalistas e gerando uma homogeneização biótica (Sato et al. 2021; Galvanese et al. 2022).

A Poaceae africana *Urochloa arrecta* (Hack. Ex T.Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga é uma macrófita, popularmente conhecida como braquiária do brejo, que encontrou condições favoráveis para colonizar o rio Guaraguaçu, no estado do Paraná e aparenta ter efeito negativo no ecossistema, diminuindo a diversidade de espécies endêmicas de plantas e dessa forma alterando a composição como um todo do sistema (Sato et al. 2021). Ela foi citada pela primeira vez por Vitule (2006)

(como *Brachiaria* spp.) em seu estudo de outra espécie invasora no estado do Paraná, o bagre africano *C. gariepinus*, que encontrou condições favoráveis para sua sobrevivência devido a ampla colonização de *U. arrecta*, que forneceu um ambiente raso, com alimento e proteção para o peixe.

Essa ampla colonização da *U. arrecta* na região litorânea do Paraná, provavelmente, teve início com a implantação dessa espécie em regiões úmidas para pastagem para criação de búfalos. Dada a sua alta plasticidade e capacidade de adaptação, a *U. arrecta* se espalhou rapidamente e vem causando uma redução nas diversidades de espécies vegetais endêmicas (Bora et al. 2020, Araújo et al. 2021, Galvanese et al. 2022, Sato et al. 2021).

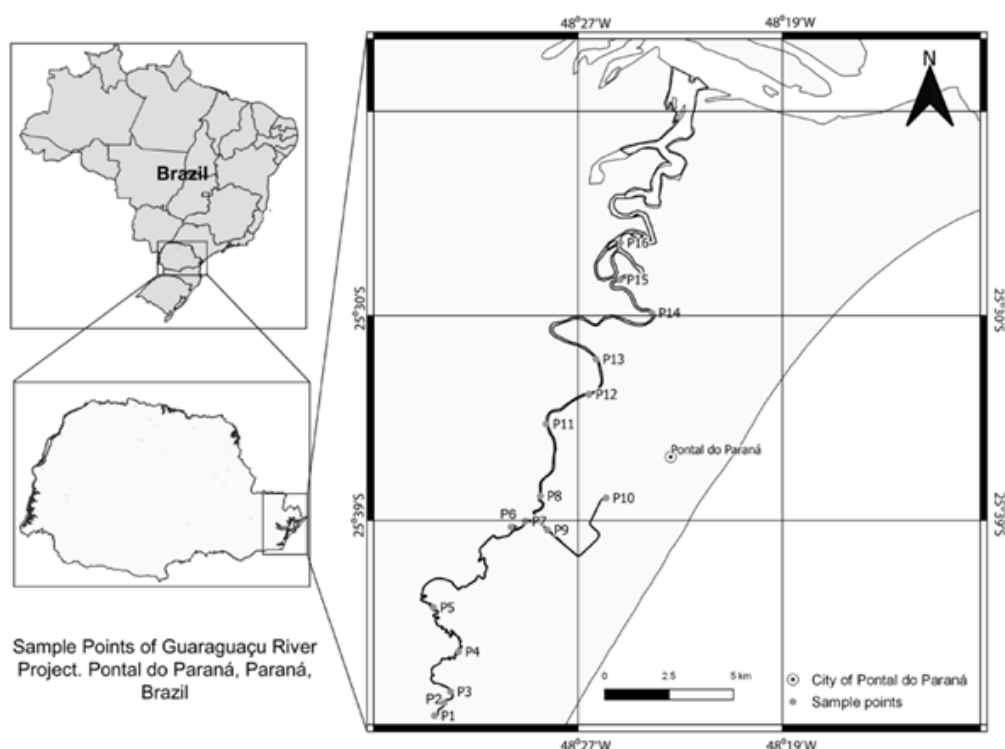
A *U. arrecta* apresenta uma grande biomassa na região intermediária do Rio Guaraguaçu. Vários fatores contribuem para o predomínio nesta porção uma delas é a menor salinidade por estar mais longe do mar (Bora et al. 2020); outro é o fato de não haver grande velocidade de corrente, que segundo Thomaz et al. (2012) é um fator limitante para o desenvolvimento de *U. arrecta*. O principal motivo, porém, para o predomínio da macrófita exótica, é o grande distúrbio antrópico causado pela contaminação do rio a partir do despejo do sistema de esgoto e contaminação proveniente de um aterro sanitário, que fornece nutrientes e favorece a o crescimento e propagação da macrófita invasora (Araújo et al. 2021, Sato et al. 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ORIGEM DOS DADOS

Os dados de espécies de peixes, encontrados no rio Guaraguaçu, foram coletados pelas equipes dos Laboratório de Análise e Síntese em Biodiversidade (LASB) e Ecologia e Conservação (LEC), da Universidade Federal do Paraná, nos períodos de 2018 e 2019 seguindo protocolos padronizado para monitoramento contínuo (ver detalhes e metadados em <<https://lasbufprbio.wixsite.com/home>>). As coletas ocorreram 2 vezes ao ano, uma em abril e outra em setembro. Segundo Galvanese et al. (2022) esses meses foram escolhidos para amostragem devido aos possíveis efeitos cumulativos das estações de verão e inverno na comunidade, diferindo não apenas na temperatura, mas também na precipitação e entrada de nutrientes no rio Guaraguaçu. Neste estudo, as coletas de setembro de 2018 foram chamadas de período 1, as coletas feitas em abril de 2019: período 2 e, por fim, as coletas do mês de abril setembro de 2019 foi chamada de período 3.

Figura 1: Localização do Rio Guaraguaçu e distribuição dos pontos de coleta de 1 a 16, divididos em 4 setores nesse trabalho: setor 1 do ponto 1 ao 4; setor 2 do ponto 5 ao 8; setor 3 entre os pontos 9 e 12 e, por fim, o setor 4, entre os pontos 13 e 16.



FONTE: Galvanese et al. 2022

Os pontos de 1 a 16, indicados na figura 1, foram divididos em 4 setores: setor 1 do ponto 1 ao 4; setor 2 do ponto 5 ao 8; setor 3 entre os pontos 9 e 12 e, por fim, o setor 4, entre os pontos 13 e 16. Por não haver presença de braquiárias invasoras no setor 1, também chamado de "caixetal ", ele não foi considerado no presente estudo. Os setores 2, 3 e 4 foram renomeados como "Diluído", "Impactado" e "Mangue", respectivamente.

3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os dados (tabela 1) com as espécies de peixes encontrados nos diferentes setores do rio, em 3 períodos distintos e com presença ou ausência de *U. arrecta*; foram disponibilizados pelo LASB. Posteriormente foram realizadas análises por meio do software "R" versão 4.3.0(R Core Team 2023) considerando para todos os testes uma diferença significativa quando o erro tipo I foi inferior ou igual a 5%.

i) Estimativa de riqueza de espécies

As estimativas de riqueza de espécie foram feitas utilizando o pacote 'vegan' e a função 'specpool'. Essas estimativas extrapolam os valores fornecidos para abranger as espécies que possivelmente não foram observadas e determinar qual é a possível quantidade de espécies no local. Para isso, a estimativa foi feita por diferentes estimadores não-paramétricos, sendo utilizados: Chao, Jackknife1, Jackknife2 e Bootstrap (veja Magurran 2013).

ii) Curva de diversidade de peixes

A curva de acumulação de espécies (veja Magurran 2013) foi feita utilizando o pacote 'vegan' e utilizando a função 'specaccum' e posteriormente colocando em formato de gráfico para observar a curva e determinar se a amostragem é suficiente para representar a diversidade de espécies para o rio Guaraguaçu (Magurran 2013).

iii) Diversidade Índice de Shannon – Wiener

A diversidade é uma relação entre a equitabilidade e os valores de proporção de espécies. O índice mais utilizado para representar a diversidade, e

adotado neste trabalho, é o de Shannon-Wiener, pois leva em conta a quantidade relativa de espécies. É dado pela fórmula:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

onde p é a proporção relativa de indivíduos da espécie " i " (Magurran 2013). Para o cálculo foi utilizado o pacote 'vegan'.

Esse índice e a riqueza de espécies foram utilizados como variáveis para avaliar o efeito da presença de espécies invasora, da localização do rio, e da interação desses dois fatores indicando variação espacial com o período de amostragem utilizando um modelo de Anova fatorial com permutações visto que os pressupostos não foram atingidos.

iv) Equitabilidade

Geralmente expressada pelo Índice de Pielou, o mesmo adotado neste trabalho, a equitabilidade representa de forma numérica se as diferentes espécies possuem uma distribuição semelhante nos espaços ocupados. O índice de Pielou varia entre 0 e 1, sendo valores mais próximos de 1, um indicativo de que as populações são equitativas (Magurran 2013).

É calculado por:

$$E = H' / \ln S$$

onde: H' é o índice de Shannon e S é o número de espécies na comunidade analisada.

Assim como a diversidade de Shannon-Wiener e a riqueza de espécies, a equitabilidade de Pielou também foi utilizada como variável resposta para avaliar o efeito da presença de espécies invasora, da localização do rio, e da interação desses dois fatores indicando variação espacial com o período de amostragem utilizando um modelo de Anova fatorial com permutações.

v) Similaridade composicional

Por fim, foram desenvolvidos gráficos utilizando os pacotes 'vegan' e 'ggplot', para simplificar e tornar mais evidente a organização da comunidade no rio, demonstrando a similaridade composicional entre os pontos a partir de um escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) (Kruskal 1964). A variação na

composição foi comparada entre locais e períodos com uma Análise de Variância Permutacional Multivariada, da mesma forma das análises descritas anteriormente.

Tabela 1: dados fornecidos pelo LASB da UFPR, listando as espécies de peixes coletados; o setor em que esses peixes foram coletados; presença ou ausência da espécie invasora *Urochloa arrecta* (Hack. Ex T.Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga; e os períodos que cada espécie foi encontrada no rio Guaraguaçu.

Espécie	Setor	Presença/Ausência de Braquiária	Período
<i>Siluriformes sp.</i>	2	Ausência	P3
<i>Bairdiella ronchus</i> (Cuvier) (Perciformes, Sciaenidae)	3,4	Presença e Ausência	P1, P2 e P3
<i>Centropomus parallelus</i> (Poey 1960)	3,4	Ausência	P2
<i>Characidae</i>	4	Ausência	P1
<i>Plagioscion sp.</i>	4	Presença	P3
<i>Cynoscion acoupa</i> (Lacepede, 1801)	4	Ausência	P1
<i>Eugerres brasilianus</i> (Cuvier, 1830)	4	Ausência	P1
<i>Genidens barbatus</i> (Lacepede, 1803)	3	Presença	P1 e P3
<i>Genidens genidens</i> (Valenciennes)	4	Presença e Ausência	P1 e P3
<i>Geophagus brasiliensis</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	2,3,4	Presença e Ausência	P1, P2 e P3
<i>Gymnotus carapo</i> (Linnaeus, 1758)	2	Ausência	P1
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	2,3,4	Presença e Ausência	P1, P2 e P3
<i>Lycengraulis grossidens</i> (Spix & Agassiz, 1829)	3	Presença	P3
<i>Mugil curema</i> (Valenciennes)	4	Ausência	P1
<i>Oligosarcus hepsetus</i> (Cuvier, 1829)	2,3	Presença e Ausência	P3
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	2,3	Presença e Ausência	P1, P2 e P3
<i>Oligoplites sp.</i>	4	Ausência	P1

4 RESULTADOS

A estimativa de riqueza de espécies, representada na tabela 2, mostra que as 17 espécies encontradas estão abaixo da riqueza esperada para o rio Guaraguaçu. Segundo o índice de chao, deve haver cerca de 36 espécies, e segundo Jack1 25 espécies.

Tabela 2: Estimativa de riqueza de espécies de peixes para o rio Guaraguaçu usando diferentes estimadores não paramétricos, veja descrição em métodos.

Espécies	Chao	Chao.se	Jack1	Jack1.se	Jack2	Boot	Boot.se	n
17	36.125	19.09372	25.5	5.188127	31.8268	20.54563	2.628205	18

Esses dados estão de acordo com o padrão da curva de acumulação de espécies (figura 2). A curva não atingiu a assíntota, ou seja, não atingiu a estabilidade, demonstrando que as 17 espécies encontradas durante as coletas de 2018 e 2019 não representam toda a diversidade do ambiente, sendo necessário um maior trabalho de monitoramento e coletas no Guaraguaçu para poder representar a comunidade real de peixes.

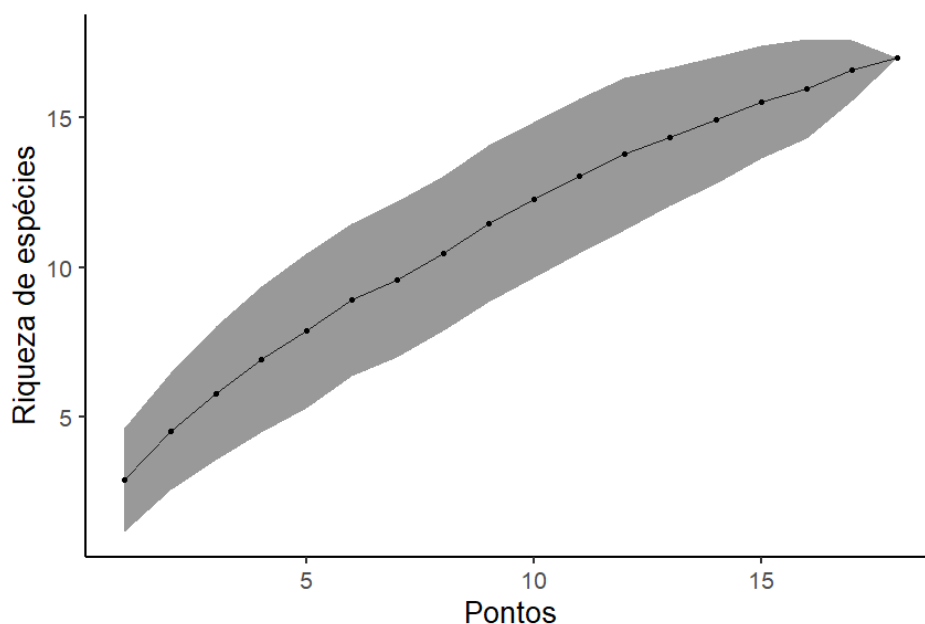


Figura 2: curva de diversidade feita no software "R" versão 4.3.0(R Core Team 2023)

Os resultados das análises de variâncias com permutações podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3: Análises de variância com permutações testando a variação espacial e temporal na diversidade de peixes no rio Guaraguaçu, em três setores de amostragens, com e sem a presença da espécie de planta invasora *Urochloa arrecta* (Hack. ex T. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga, e ao longo de três períodos de amostragem.

Descritor de biodiversidade	Variável preditora	P
Diversidade de Shannon	Setor do rio	0,084
	Presença da espécie invasora	1,000
	Período de amostragem	1,000
	Setor*período	0,948
	Presença*período	0,016
Riqueza de Espécies	Setor do rio	0,571
	Presença da espécie invasora	0,941
	Período de amostragem	0,692
	Setor*período	0,945
	Presença*período	0,020
Equitabilidade	Setor do rio	0,0006
	Presença da espécie invasora	0,745
	Período de amostragem	0,953
	Setor*período	1,000
	Presença*período	0,412

A diversidade de espécies de Shannon-Wiener teve relação significativa com a interação entre presença da espécie invasora e período amostral. Além disso, a relação presença e período demonstrou também influência na riqueza de espécies.

Os gráficos demonstram um aumento de diversidade e riqueza de espécies ao longo desses períodos para as áreas com presença de braquiárias exóticas da espécie *U. arrecta* (figuras 3 e 4). Em contrapartida, a diversidade e a riqueza das espécies de peixes em áreas não afetadas, onde ainda se encontram espécies nativas, diminuiu no último período amostrado.

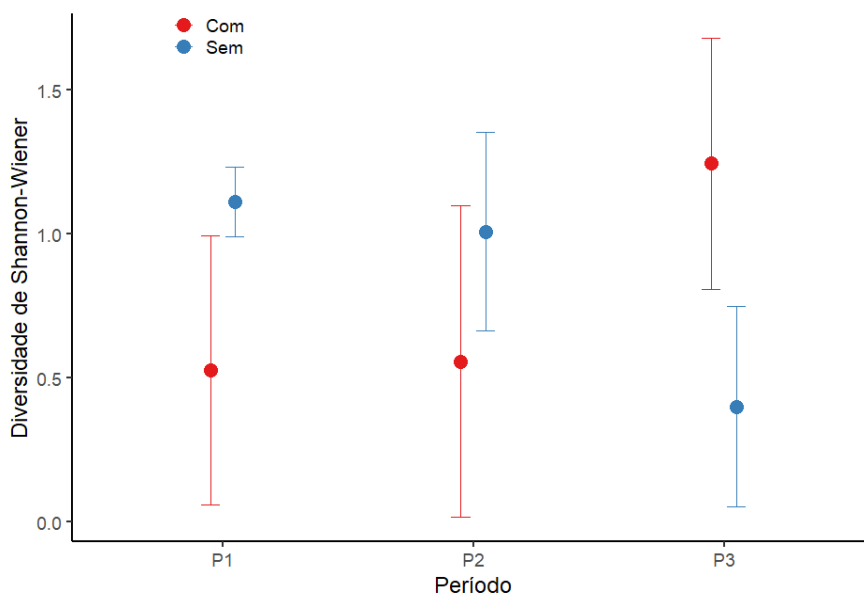


Figura 3: Média e desvio padrão da diversidade de Shannon-Wiener comparando áreas com ou sem a espécie de planta invasora *Urochloa arrecta* (Hack. Ex T.Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga nos períodos analisados entre 2018 e 2019. Veja métodos para mais detalhes

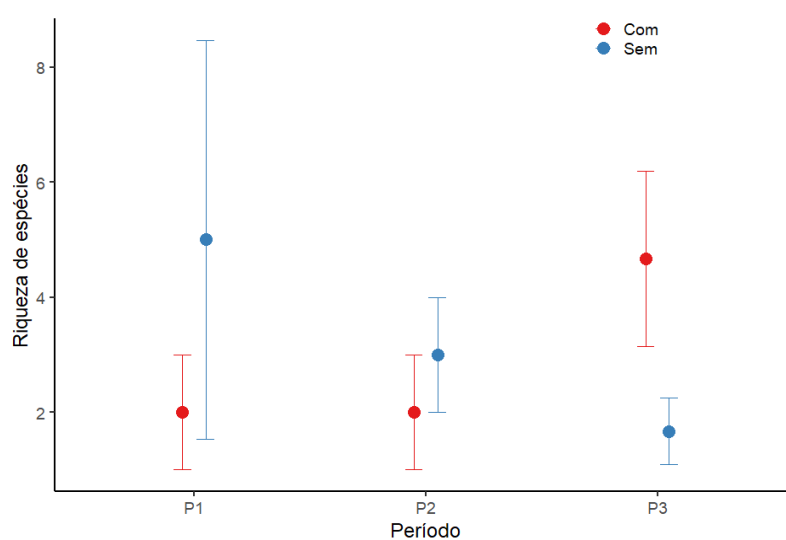


Figura 4: Média e desvio padrão da riqueza de espécies comparando áreas com ou sem a espécie de planta invasora *Urochloa arrecta* (Hack. Ex T.Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga nos períodos analisados entre 2018 e 2019. Veja métodos para mais detalhes.

Em relação à equitabilidade de Pielou, existe uma variação quando comparamos os diferentes setores, sendo o setor 3 (com impacto diluído) e setor 2 (impactado) apresentam valores similares, enquanto o setor 4 (mangue) tem valor médio menor e maior variação na equitabilidade, indicando que algumas espécies se destacam por terem maior dominância em alguns pontos dessa região (Figura 5).

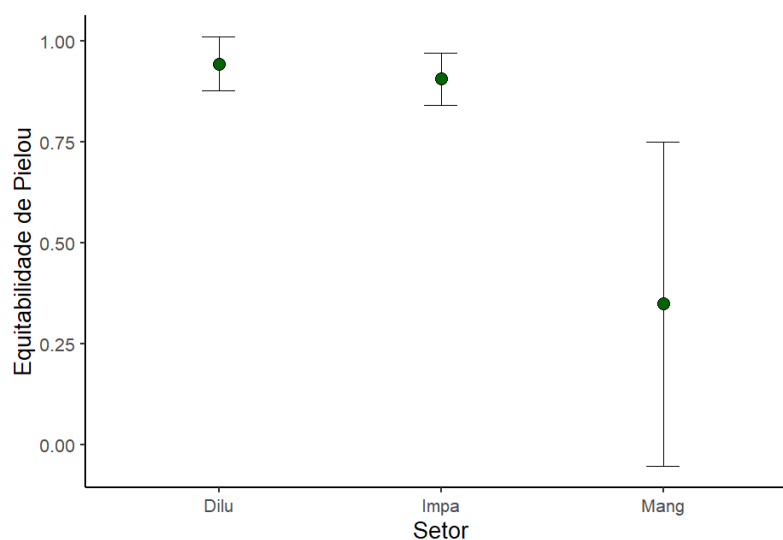


Figura 5: Equidade de Pielou comparando a distribuição de espécies de peixes nos 3 setores analisados, veja métodos para descrição dos setores.

Por fim, foi analisada a composição de espécies por setor, obtendo valor de variância de 4,1% ($p=0,041$); por local ($p=0,579$), período ($p=0,149$) e as relações do período com setor ($p=0,165$) e período com presença ou ausência de *U. arrecta* ($p=0,799$). Entretanto, como demonstrado nas figuras 6, 7 e 8, nenhuma variável descritora do espaço e do tempo afetaram significativamente a composição de espécies.

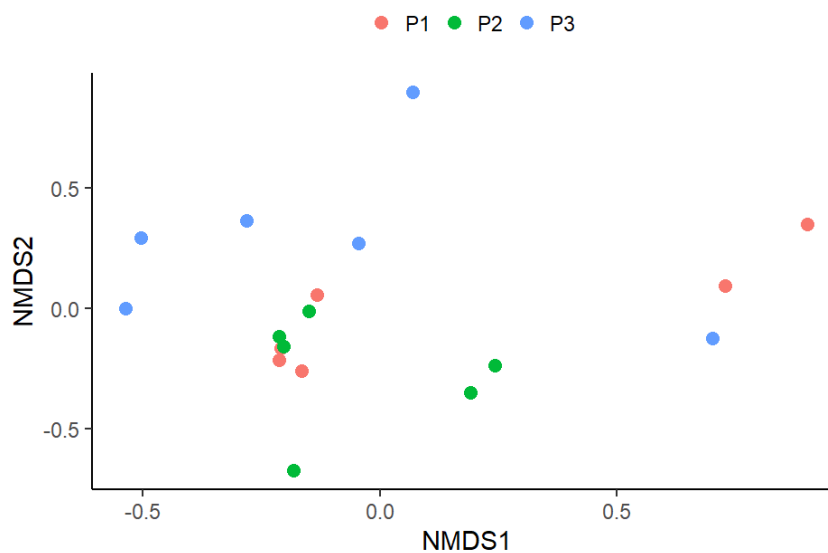


Figura 6: Dois eixos de um escalonamento multidimensional não métrico mostrando a similaridade composicional de espécies de peixes do rio Guaraguaçu entre os períodos sendo P1 o mês de setembro de 2018, P2 o mês de março de 2019 e P3 o mês de setembro de 2019.

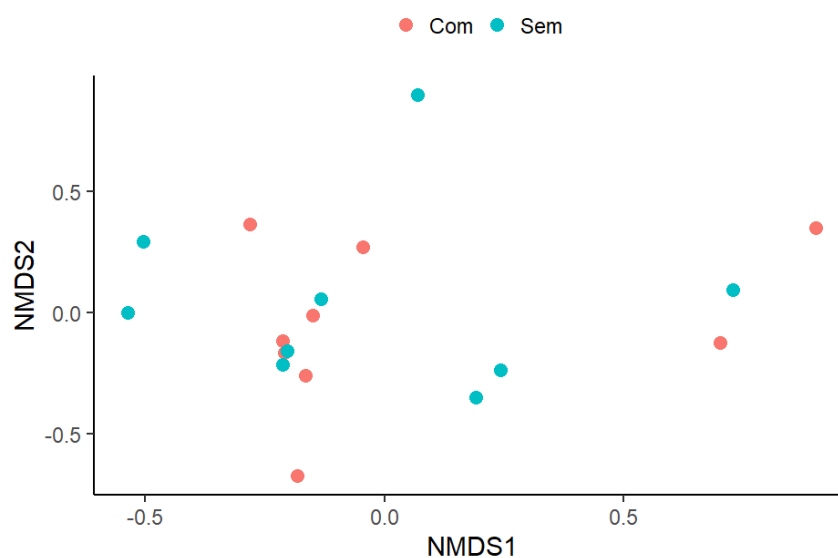


Figura 7: Dois eixos de um escalonamento multidimensional não métrico mostrando a similaridade composicional de espécies de peixes do rio Guaraguaçu comparando locais de coleta com e sem a espécie invasora *Urochloa arrecta* (Hack. Ex T.Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga.

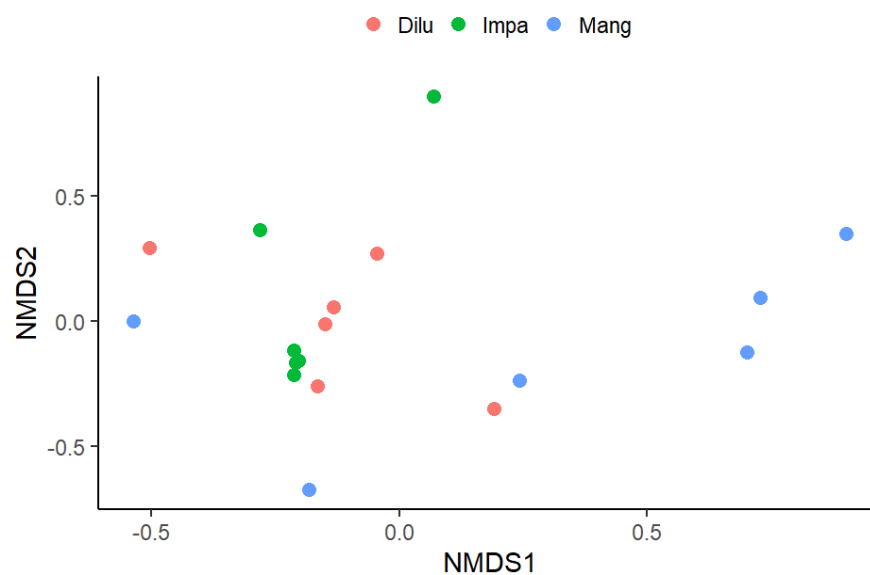


Figura 8: Dois eixos de um escalonamento multidimensional não métrico mostrando a similaridade composicional de espécies de peixes do rio Guaraguaçu comparando as porções impactadas do rio Guaraguaçu. Dilu: impacto diluído; Impa: impactado; Mang: mangue.

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com outros trabalhos demonstrando que a presença da macrófita invasora *U. arrecta* interfere nos ambientes onde ela se instala, mudando a composição de fauna e flora nativa.

Nota-se que ao longo dos três períodos analisados, a diversidade e riqueza de espécies de peixes em áreas onde há um predomínio de macrófitas nativas está diminuindo, enquanto a encontrada em ambientes alterados por *U. arrecta* tende a crescer. Isso pode estar ocorrendo tanto por à espécie invasora fornecer um melhor abrigo e disponibilidade de alimentos, quanto ser uma consequência da redução das espécies de macrófitas nativas, desta forma, o único habitat encontrado pelos peixes, passa a ser a macrófita exótica. A princípio, esse resultado é contraintuitivo visto os efeitos deletérios que a espécies invasora já demonstrou na diversidade de outros grupos nesse rio (Sato et al. 2021; Galvanese et al. 2022). Porém, a identidade das espécies de peixe não foi analisada, assim como três períodos ainda é pouco tempo para conclusões definitivas.

Por outro lado, esse resultado pode reforçar que a macrófita invasora altera a dinâmica ecológica, e que mesmo aumentos da biodiversidade nem sempre podem ser considerados mudanças positivas no funcionamento dos ecossistemas (veja por exemplo Vellend 2017).

Também se destaca o fato que os dados ainda são incipientes considerando a composição da ictiofauna. A principal dificuldade para analisar os impactos no rio é a falta de um monitoramento contínuo, que forneça mais dados sobre as espécies de fauna e flora e como ocorrem as interações entre elas. De fato, o grande impacto da espécie de planta invasora na comunidade de peixes provavelmente ocorreu logo após a invasão dessa espécie no rio (Vitule 2006), e atualmente os impactos devem ser pouco observados.

6 CONCLUSÃO

Este estudo reforçou o fato que a amostragens de peixes encontrados no rio Guaraguaçu no monitoramento ainda não representam de forma satisfatória a comunidade de peixes da região. Portanto, há necessidade de continuação e ampliação do monitoramento afim de melhor avaliar os padrões espaciais e temporais das comunidades de peixes, e sua possível resposta a alterações na paisagem como invasão de uma espécie de planta de desenvolvimento massivo como *U. arrecta*.

7 REFERENCIAS

Araújo, E.S., Vitule, J.R.S. & Padial, A.A. . 2021. A checklist of aquatic macrophytes of the Guaraguaçu river basin reveals a target for conservation in the Atlantic rainforest. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 43:e50542.

Azevedo-Santos V.M., Rodrigues-Filho J.L., Fearnside P.M., Lovejoy T.E., Brito M.F.G. . 2021 Conservation of Brazilian freshwater biodiversity: Thinking about the next 10 years and beyond. *Biodivers Conserv* 30:235–241.

Bora, L. S., Thomaz, S. M., & Padial, A. A. . 2020. Evidence of rapid evolution of an invasive poaceae in response to salinity. *Aquatic Sciences*, 82, 76.

Da Silva F.R., Gonçalves-Souza T, Paterno G.B., Provete D.B., Vancine M.H. . 2022. *Análises ecológicas no R. cap: 7-12. Nupeea : Recife, PE, Canal 6 : São Paulo. 640 p. ISBN 978-85-7917-564-0.*

Elste, G. A. S., Zanlorenzi, G. A., Lautert, L. F. C., Nazário, M. G., Marques, P. H., Quadros, J. . 2019. A contaminação do rio Guaraguaçu (Litoral do Paraná): limites e riscos ao desenvolvimento territorial regional. *Guaju, Matinhos*, v. 5, n. 2.

Galvanese, E.F., Costa, A.P.L., Araújo, E.S., Falkievicz, B.C., De Melo, G.G.V., Vitule, J.R.S., Padial, A.A. . 2022. Community stability and seasonal biotic homogenisation emphasize the effect of the invasive tropical tanner grass on macrophytes from a highly dynamic neotropical tidal river. *Aquatic Sciences*, 84, 30.

Magurran, A. E. . 2013. *Medindo a Diversidade Biológica*. Curitiba - Pr: Editora Ufpr.

Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco): <https://whc.unesco.org/en/list/893/maps/>

Kruskal, J.B. . 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika* 29, 1–27.

R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Reis C.S., França H.T.S., Moty T., Cordeiro T.S., Rocha J.R.C. . 2015. Avaliação da atividade antrópica no rio Guaraguaçu (Pontal do Paraná, Paraná). Revista Engenharia Sanitária e Ambiental 20: 389-394.

Sato, R.Y., Costa, A.P.L. & Padial, A.A. . 2021. The invasive tropical tanner grass decreases diversity of the native aquatic macrophyte community at two scales in a subtropical tidal river. Acta Botanica Brasilica, 35, 140.

Svolenski, A.C., Rachwal, M.F.G., Kuniyoshi, Y.S. & Silva, S.M.. 2000. Aspectos Fitossociológicos e Pedológicos de Três Superfícies de Agradação do Rio Guaraguaçu, Litoral do Paraná. [S.L.]: Universidade Federal do Paraná.

Thomaz, S.M., Carvalho, P., Mormul, R.P., Padial, A.A., Galvanese, E.F., Bini, L.M. .2022. Ecology of aquatic macrophytes in Brazil: The legacy of Francisco de Assis Esteves. Oecologia Australis, 26, 118-133.

Thomaz SM, Cunha E. R. . 2010. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition.

Thomaz S. M., Silveira M. J., Michelan T. S. . 2012. The colonization success of an exotic Poaceae is related to native macrophyte richness, wind disturbance and riparian vegetation. Aquat Sci 74(4):809– 815.

Valentim, G. A. . 2021. Efeito de invasões biológicas na dieta da ictiofauna: um estudo de caso e uma revisão sistematizada. URL: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/80612>

Vellend, M. . 2017. The Biodiversity Conservation Paradox. American Scientist, 105, 94– 101.

Vitule J.R.S., Umbria S.C., Aranha J.M.R. .2006. Introduction of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) into Southern Brazil. *Biol Invasions* 8:677–681