

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA COMPARADA

LETICIA MAZZUCO SANDRI

Morfologia e ecologia trófica da vulnerável *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006,
em duas estações ecológicas, bacia do Ivaí, alto rio Paraná

Maringá
2023

LETICIA MAZZUCO SANDRI

Morfologia e ecologia trófica da vulnerável *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006,
em duas estações ecológicas, bacia do Ivaí, alto rio Paraná

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia Comparada.

Orientador: Prof.^a Dr.^a. Rosilene Luciana Delariva

Maringá

2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

S219m

Sandri, Leticia Mazzuco

Morfologia e ecologia trófica da vulnerável *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006, em duas estações ecológicas, bacia do Ivaí, alto rio Paraná / Leticia Mazzuco Sandri. -- Maringá, PR, 2023.

51 f.: il. color., figs., tabs., maps.

Orientadora: Profa. Dra. Rosilene Luciana Delariva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada, 2023.

1. *Apareiodon vladii*. 2. Peixes - Espécies ameaçadas. 3. Peixes - Morfologia e ecologia. 4. Peixes de água doce - Bacia do Rio Ivaí - Paraná. 5. Riachos subtropicais. I. Delariva, Rosilene Luciana, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Biológicas. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada. III. Título.

CDD 23.ed. 597.4

Elaine Cristina Soares Lira - CRB-9/1202

FOLHA DE APROVAÇÃO

LETICIA MAZZUCO SANDRI

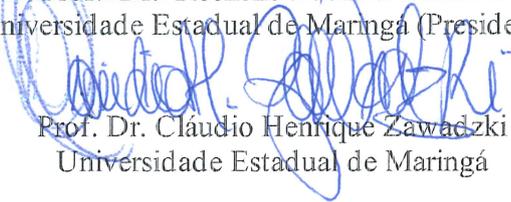
Morfologia e ecologia trófica da vulnerável *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006 em duas estações ecológicas, bacia do Ivaí, alto rio Paraná.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia das Interações Orgânicas pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA



Prof.ª Dr.ª Rosilene Luciana Delariva
Universidade Estadual de Maringá (Presidente)



Prof. Dr. Cláudio Henrique Zawadzki
Universidade Estadual de Maringá

Membro remoto
Prof.ª Dr.ª Karine Orlandi Bonato
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Aprovada em: 25 de agosto de 2023.

Local de defesa: Sala 206, Bloco G80, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

AGRADECIMENTO(S)

Agradeço à minha mãe, Josiane Mazzuco, por me encorajar, acreditar em mim e por sempre me apoiar em todas as decisões da minha vida. Por sempre me ouvir e me acalmar em momentos de angústia. Você é e sempre vai ser o meu porto seguro e meu maior exemplo!

Ao meu pai, por estar sempre presente na minha jornada, por todos os ensinamentos que hoje, consigo entender que me fizeram ser uma pessoa mais forte. Você sempre será o meu alicerce.

Ao meu irmão, meus primos Amanda, Emanuelle e Gabriel por me apoiarem e compartilharem momentos incríveis comigo, vocês são meus orgulhos!

À minha tia Rosilei e ao meu Tio Edimar, pelo suporte, por comemorarem comigo as minhas conquistas, por todos os conselhos e risadas que compartilhamos. Vocês fazem parte de todo o meu crescimento!

Às minhas duas avós, Ivani e Natalina, que são como duas mães para mim, sempre me cuidando. Ao meu avô, que mesmo não estando entre nós, sempre está presente nas minhas memórias, espero estar deixando o senhor orgulhoso!

Ao meu namorado Juan, por ser meu companheiro de vida, pela paciência em momentos difíceis, por estar do meu lado me apoiando e tirando sorrisos do meu rosto. Esse processo com certeza foi muito mais leve por te ter aqui comigo.

À minha família como um todo e aos meus amigos que me apoiaram durante esse processo e me acompanharam ao longo dessa jornada!

À Prof.^a Dr.^a Rosilene Luciana Delariva, por me acompanhar desde o meu segundo ano de graduação até hoje, por todos os ensinamentos, pelos conselhos e conversas. Me espelho muito na sua força e te considero uma profissional excepcional.

À Prof.^a Dr.^a Karine Orlandi Bonato e ao Prof.^o Dr. Luciano Lazzarini Wolff, por me acompanharem durante a minha jornada, por todos os ensinamentos e também pelas conversas e conselhos.

Aos integrantes do Laboratório de Ictiologia, Ecologia e Biomonitoramento (LIEB) pela parceria e cooperação de sempre. Por todas as risadas e momentos compartilhados. Admiro muito cada um e sou muito grata por poder fazer parte dessa equipe!

À Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada pela oportunidade de realizar meu mestrado em uma universidade de prestígio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Morfologia e ecologia trófica da vulnerável *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006, em duas estações ecológicas, bacia do Ivaí, alto rio Paraná

RESUMO

A região Neotropical abriga uma grande diversidade de espécies animais, contudo, essa fauna se encontra sob fortes ameaças de origem antrópica. Os peixes nesses ambientes possuem morfologias, hábitos alimentares e reprodutivos moldados por esses direcionadores seletivos. Desse modo, os indivíduos podem exibir variações sutis nos traços morfológicos e em suas preferências alimentares, sendo denominadas variações intraespecíficas e especializações individuais, responsáveis por mediar diversas interações nos ecossistemas aquáticos. Nesse contexto, o objetivo desse estudo é avaliar os aspectos morfológicos e tróficos de *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006, a qual possui distribuição restrita e se encontra na lista de espécies ameaçadas de extinção. A amostragem foi realizada durante o mês de março de 2022 através da pesca elétrica em duas estações ecológicas na bacia do rio Ivaí, alto rio Paraná. Foram obtidas fotos do lado esquerdo dos indivíduos para as análises de morfometria geométrica. As imagens foram digitalizadas em software específico onde 17 marcos morfológicos foram inseridos. Adicionalmente, foram avaliadas as variações morfológicas no aparato trófico (número, comprimento e espaçamento de rastros e coeficiente intestinal). Subsequentemente, foi realizada a análise do conteúdo estomacal dos mesmos indivíduos usados nas análises morfológicas. Apesar de não significativo, padrões de variações morfológicas intraespecíficas foram observados entre os ambientes, causando a segregação dos indivíduos principalmente em relação à curvatura do corpo e posicionamento do focinho. A espécie apresentou hábito alimentar algívoro, com contribuição de outros recursos como briófitas e insetos aquáticos. Foi encontrada uma grande diversidade de algas, com predominância das classes Cyanophyceae, Bacillariophyceae e Mediophyceae. Correlações fortes e positivas foram encontradas entre o item alimentar algas e os traços morfológicos dos rastros e entre o item briófitas e o coeficiente intestinal. A espécie apresentou especialização individual e variação intraespecífica no uso dos recursos, tanto de forma geral como espacialmente. Esses resultados fornecem informações inéditas e novos insights sobre a ecologia de *A. vladii*, demonstrando como mecanismos ecológicos podem atuar na coexistência intraespecífica e fornecendo direcionamentos para implementação de planos de manejos assertivos para sua conservação.

Palavras-chave: Espécie ameaçada. Morfometria geométrica. Especialização individual. Algívoros. Coexistência intraespecífica.

Morphology and trophic ecology of the vulnerable *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006 in two ecological stations, Ivaí River, upper Paraná River basin

ABSTRACT

The Neotropical region hosts a vast diversity of animal species; however, this fauna faces significant anthropogenic threats. Fish in these environments exhibit morphologies, feeding habits, and reproductive behaviors shaped by these selective pressures. Consequently, individuals may display subtle variations in morphological traits and dietary preferences, referred to as intraspecific variations and individual specializations, which mediate various interactions in aquatic ecosystems. In this context, the objective of this study is to assess the morphological and trophic aspects of *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006, a species with limited distribution and listed as threatened with extinction. Sampling was conducted in March 2022 through electrofishing at two ecological stations in the Ivaí River basin, upper Paraná River. Photos of the left side of the individuals were taken for geometric morphometric analyses. These images were digitized in specific software, with 17 morphological landmarks included. Additionally, morphological variations in the trophic apparatus (number, length, and spacing of gill rakers and intestinal coefficient) were evaluated. Subsequently, stomach content analysis was performed on the same individuals used in the morphological analyses. Although not significant, patterns of intraspecific morphological variations were observed between environments, leading to the segregation of individuals, primarily concerning body curvature and snout position. The species exhibited algivorous feeding habits, with contributions from other resources such as bryophytes and aquatic insects. A wide variety of algae was found, with a predominance of the Cyanophyceae, Bacillariophyceae, and Mediophyceae classes. Strong and positive correlations were identified between the algae food item and the morphological traits of gill rakers and between the bryophytes item and the intestinal coefficient. The species displayed individual specialization and intraspecific variation in resource utilization, both in general and spatially. These findings provide novel insights into the ecology of *A. vladii*, demonstrating how ecological mechanisms can influence intraspecific coexistence and provide guidance for the implementation of effective management plans for its conservation.

Keywords: Threatened species. Geometric morphometrics. Individual specialization. Algivory. Intraspecific coexistence.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Área de estudo e pontos de amostragem distribuídos na bacia hidrográfica do rio Ivaí, no município de Iretama, Paraná, Brasil.....27
- Figura 2: Resultado da análise de componentes principais (PCA) entre PC1 x PC2, mostrando as diferenças morfológicas intraespecíficas de *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquidão; OUVE= Córrego Ouro Verde. O gráfico apresenta as placas de deformação demonstrando a variação entre a forma dos indivíduos.33
- Figura 3: Densidade das classes de algas consumidas por *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquidão; OUVE= Córrego Ouro Verde.....37
- Figura 4: Correlações de Spearman entre os caracteres morfológicos tróficos (NR= Número de rastros; CR= Comprimento dos rastros; ER= Espaçamento entre rastros; CI= Coeficiente intestinal) e os itens alimentares (ALG= Alga; BRI= Briófitas; DIP= Diptera pupa; CHI= Chironomidae; SIM= Simuliidae; EPH= Ephemeroptera; TRI= Trichoptera; VET= Vegetal terrestre; DET= Detrito) consumidas por *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. (A) Rio Laranjeiras, (B) Rio Muquidão, (C) Córrego Ouro Verde. Os valores nos quadrados representam as correlações, os asteriscos indicam correlações significativas, os quadrados sem asteriscos indicam correlações não significativas.....38
- Figura 5: Matrizes de incidência descrevendo os itens alimentares (colunas) utilizados por indivíduos (linhas) de *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. Quadrados pretos indicam que um determinado indivíduo consumiu um determinado item alimentar. (A) Todos os pontos amostrados, (B) Rio Laranjeiras, (C) Rio Muquidão, (D) Córrego Ouro Verde.39
- Figura S1: Marcos homólogos usados para descrever a forma do corpo de *Apareiodon vladii*, Iretama, Paraná, Brasil.....49
- Figura S2: Rastros branquiais de *Apareiodon vladii*, Iretama, Paraná, Brasil. (A) Vista da brânquia. (B) Vista aproximada dos rastros, 1= comprimento do rastro; 2= espaçamento entre rastros;49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características físicas dos locais amostrados na bacia hidrográfica do rio Ivaí, no município de Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquidão; OUV= Córrego Ouro Verde. 28

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos dos locais amostrados na bacia hidrográfica do rio Ivaí, no município de Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquidão; OUV= Córrego Ouro Verde; Temp.= Temperatura; ORP= Potencial de oxidação/redução; Cond.= Condutividade; OD= Oxigênio dissolvido; TDS= Sólidos totais dissolvidos..... 32

Tabela 3: Características morfológicas tróficas intraespecíficas de *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquidão; OUV= Córrego Ouro Verde; DP= Desvio padrão. 34

Tabela 4: Itens alimentares em volume percentual e densidade de algas consumidas por *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquidão; OUV= Córrego Ouro Verde; FV= Forma de vida; HB= Habitat; UC= Unicelular; FL= Filamentoso; CO= Colonial; CA= Cadeia; PER= Perifítico; MEF= Metafítico; PLA= Planctônico. 34

SUMÁRIO

1 Introdução.....	7
2 Referencial teórico.....	8
2.1 Considerações sobre a Diversidade da Ictiofauna Neotropical.....	8
2.2 Principais Ameaças aos Ecossistemas de Água Doce Neotropicais	9
2.3 Ictiofauna Neotropical: Espécies Ameaçadas	10
2.4 Importância de Estudos em Áreas Protegidas	11
2.5 Variações Intraespecíficas e Especialização individual	12
2.6 Morfologia Corpórea.....	13
2.7 Considerações sobre <i>Apareiodon vladii</i>	14
REFERÊNCIAS.....	15
<i>Apareiodon vladii</i> é um algívoro? atributos morfológicos e tróficos.....	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
Introdução.....	24
Materiais e métodos.....	26
Área de estudo.....	26
Amostragem	26
Procedimentos laboratoriais	29
Análise dos dados.....	30
Resultados.....	32
Variáveis ambientais	32
Morfometria geométrica.....	32
Morfologia trófica	33
Dieta	34
Correlações de traços: morfologia trófica e dieta.....	37
Variação individual na dieta.....	39
Discussão.....	40
Referências	43
Material suplementar	49

1 Introdução

Os ecossistemas de água doce são considerados *hotspots* de biodiversidade, abrindo uma grande riqueza de espécies (DUDGEON et al., 2006; STRAYER & DUDGEON, 2010; COLLEN et al., 2014). Na região neotropical, os peixes apresentam uma grande representatividade, sendo o Brasil o detentor da maior riqueza ictiofaunística (COLLEN et al., 2014; NELSON et al., 2016, REIS et al., 2016; ICMBio 2018; CASTRO & POLAZ 2019). Essa elevada diversidade seguida de expressiva diversidade morfológica, comportamental e ecológica se deve a inúmeros processos geológicos, topográficos e climáticos (VARI & MALABARBA, 1998; ROXO et al., 2017; EVANS et al., 2019; ALBERT et al., 2020). Concomitante a essas peculiaridades, os ecossistemas de água doce e por consequência os peixes dulcícolas se encontram entre os mais intensivamente explorados e ameaçados (DUDGEON et al., 2006; MOYA et al., 2011; REIS et al., 2016; REID et al., 2019).

É estimado que cerca de 14% das espécies neotropicais de peixes de água doce se encontram sob ameaça de extinção devido à expansão urbana, agrícola e industrial (ICMBio, 2018, TAGLIACOLLO et al., 2021). A preservação desses locais proporciona uma gama de condições favoráveis para a reprodução e sobrevivência dos organismos aquáticos, como condições físico-químicas adequadas, elevada variedade e variabilidade do habitat e suprimento energético de diversas fontes (ALLAN, 2004; BOULTON et al., 2008; FERREIRA et al., 2012; ZIOBER et al., 2015; CASTRO, 2021). Conseqüentemente, estudos acerca da biologia de peixes ameaçados ou vulneráveis em ambientes conservados fornecem informações valiosas para compreender as interações intra e interespecífica e sua relação com o ambiente adjacente e as condições abióticas (BALDASSO et al., 2019; ESTEVES et al., 2021). Essas informações são amplamente utilizadas para estabelecer conexões com ambientes não preservados e mensurar os impactos tanto na presença e abundância de espécies, como nas relações e processos ecológicos (LARENTIS et al., 2022).

Popularmente conhecido como “canivete” e pertencente à ordem Characiformes, a família Parodontidae, a espécie *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006 é um peixe de pequeno porte, pouco abundante e pouco frequente, possuindo distribuição nas Bacias dos rios Piquiri e Ivaí (GRAÇA & PAVANELLI, 2007; ICMBio, 2018; OTA et al., 2018). Por se tratar de uma espécie dependente de correntezas, os projetos de implementação de hidrelétricas nas bacias hidrográficas causam grande preocupação, tendo em vista que a espécie se encontra em risco de extinção e é enquadrada na categoria de vulnerável (ICMBio, 2018). Apesar de se encontrar

na lista de espécies ameaçadas, a literatura a respeito de *A. vladii* é extremamente escassa, o que dificulta ainda mais a implementação de medidas de conservação eficazes para esta espécie.

Por muito tempo, estudos ecológicos retrataram as espécies como a soma dos indivíduos, desconsiderando as variações e especializações individuais (BOLNICK et al., 2003; ARAÚJO et al., 2010; ARAÚJO et al., 2011). Todavia, sabe-se que indivíduos de uma mesma espécie podem apresentar diferenças sutis em relação à forma do corpo, alimentação, comportamento, fisiologia e essas diferenças são denominadas variações individuais intraespecíficas (BOLNICK et al., 2011). A morfologia dos indivíduos é altamente correlacionada com o micro-habitat em que vivem, principalmente naqueles locais em que apresentam o seu melhor *fitness* (WILLIS et al., 2005; LEAL et al., 2011), desta forma as variações ambientais impactam diretamente na variabilidade individual (exemplo a forma do corpo) resultando em uma plasticidade fenotípica (IMRE et al., 2002; POTTS et al., 2021). Outro exemplo de variações intraespecíficas ocorre dentro de populações ditas generalistas que podem ser compostas por indivíduos especialistas que apresentam preferências alimentares, acentuadas, por determinados recursos (BOLNICK et al., 2003; ARAÚJO et al., 2010). A relação entre a morfologia e a ecologia trófica é bem documentada na literatura, onde é esperado que a morfologia seja relacionada ou indicativa do papel ou nicho trófico dos organismos em seus ambientes (RICKLEFS & MILES, 1994; TEIXEIRA & BENNEMANN, 2007; MAZZONI et al., 2010; SAMPAIO & GOULART, 2011; MISE et al., 2013). Nesse aspecto, variações individuais em traços morfológicos podem afetar o comportamento alimentar dos peixes e seu desempenho no ecossistema.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi descrever diversos aspectos da biologia de *Apareiodon vladii* através de análises morfológicas corpóreas e do aparato trófico e análise do conteúdo estomacal para compreender os padrões ecológicos da espécie em duas estações ecológicas no município de Iretama, Paraná, Brasil. A hipótese aqui levantada é de que essas variações estejam relacionadas ao ambiente em que os indivíduos vivem e atuam na coexistência dos indivíduos dessa espécie que é restrita espacialmente e se encontra sob ameaça de extinção.

2 Referencial teórico

2.1 Considerações sobre a Diversidade da Ictiofauna Neotropical

O longo processo de gênese e evolução da região Neotropical resultou na composição de uma flora e fauna única e extremamente diversa, abrigando assim, a maior concentração de

biodiversidade do planeta terra (JOLY, 2008). Os ecossistemas de água doce, apesar de cobrirem pequena parcela da superfície terrestre, são detentores de elevada riqueza e diversidade (LEVÊQUE et al., 2007). Dentro desses ambientes, os peixes fazem parte de um grupo muito numeroso e de grande representatividade (LEVÊQUE et al., 2007; JOLY, 2008; COLLEN et al., 2014; NELSON et al., 2016, REIS et al., 2016). A região Neotropical abriga mais de 6.200 espécies de peixes pertencentes a 854 gêneros, 95 famílias e 39 ordens, sendo as ordens taxonômicas que congregam maior riqueza os Characiformes, Siluriformes, Cyprinodontiformes, Cichliformes e Gymnotiformes (ALBERT et al., 2020). Especificamente, o Brasil abrange quase a metade desta região Neotropical, possuindo cerca de 3.148 espécies de peixes descritas, ou seja, o Brasil detém metade da riqueza ictiofaunística do planeta (ICMBio 2018; CASTRO & POLAZ 2019).

A elevada diversidade ictiofaunística da região Neotropical, em especial das Américas do Sul e Central, se deve à complexa história geomorfológica que torna esse grupo uma fonte potencial para estudos de biogeografia histórica (VARI & MALABARBA, 1998). Paralelamente ao grande número de espécies, o processo de gênese dessa região também culminou na alta diversidade fenotípica, seja em relação à morfologia interna ou externa, diversidade funcional e especializações tróficas (VARI & MALABARBA, 1998; ROXO et al., 2017; EVANS et al., 2019; ALBERT et al., 2020). Essas características variáveis, sejam intra ou interespecíficas, juntamente com as tolerâncias eco fisiológicas, comportamentais e de história de vida desempenham papel chave na evolução dos organismos e são responsáveis pela coexistência dos organismos em assembleias tão ricas (BOLNICK et al., 2011; WINEMILLER et al., 2015, EVANS et al., 2019, BURNS & SIDLAUSKAS 2019).

2.2 Principais Ameaças aos Ecossistemas de Água Doce Neotropicais

Paralelamente à peculiaridade de possuir grande riqueza e diversidade, os ecossistemas de água doce se encontram entre os ambientes mais ameaçados na atualidade (DUDGEON et al., 2006; MOYA et al., 2011; REIS et al., 2016). A água, apesar de ser considerada um recurso essencial para sobrevivência e com grande importância econômica, foi e continua sendo intensivamente explorada, resultando em um quadro crítico de degradação dos ecossistemas aquáticos (STRAYER & DUDGEON, 2010; VÖRÖSMARTY, et al., 2010). Destaca-se entre os diversos fatores que causam degradação desses ambientes as influências agrícolas, urbanas e industriais (COLLEN et al., 2014). A extração da água, eliminação de resíduos, transporte, produção de energia, construção de barragens, introdução de espécies exóticas, canalização, superexploração e os níveis crescentes de poluição orgânica e inorgânica são alguns dos

principais estressores para os ambientes dulcícolas (STRAYER & DUDGEON, 2010; VÖRÖSMARTY et al., 2010; COLLIER et al., 2019). Indiretamente, as mudanças climáticas também representam um desafio constante à integridade e função desses ecossistemas (DUDGEON et al., 2006).

O conjunto de ações humanas que perturbam esses ambientes, como a degradação da paisagem marginal, resultam frequentemente em ambientes menos heterogêneos afetando toda a biota (ALLAN, 2004; REIS et al., 2016). A degradação pode gerar consequências para as populações aquáticas tanto de forma direta, levando a perda da biodiversidade e extinção de espécies, como indiretamente através das interações ecossistêmicas (STAYER & DUDGEON, 2010). A performance dos peixes nesses ambientes, por exemplo, é afetada a partir dessas modificações estruturais, físicas e químicas nas condições ambientais (VEJŘÍKOVÁ et al., 2017). Collen et al., (2014) listaram os três principais processos que ameaçam as espécies de água doce: a perda/degradação do habitat, poluição da água e superexploração. A perda/degradação do habitat se demonstrou o processo mais agressivo, afetando mais de 80% das espécies ameaçadas.

2.3 Ictiofauna Neotropical: Espécies Ameaçadas

Os peixes se encontram entre os grupos mais ameaçados dentro dos vertebrados e suas taxas de riqueza e abundância estão diminuindo drasticamente em escalas regionais e continentais (REID et al., 2019). Uma média de 30% dos peixes de água doce são classificados em categorias de ameaça pelas avaliações da Lista Vermelha (RL) da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) (IUCN, 2020). De acordo com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2018), das 3.130 espécies de Actinopterygii analisadas, 311 foram classificadas como ameaçadas e destas, 100 espécies se enquadram na categoria de Criticamente em Perigo (CR). Contudo, esses valores não são concretos devido algumas lacunas de conhecimento em relação a descrição de espécies, fornecendo apenas uma ideia da situação do cenário atual. Estimativas baseadas em taxas recentes de descoberta de espécies sugerem que quase 3.000 espécies de peixes de água doce neotropicais ainda não foram formalmente descritas pelos taxonomistas (REIS et al., 2016).

Em uma revisão recente, Tagliacollo et al., (2021) avaliaram o risco de extinção de peixes neotropicais de água doce a partir de dados de distribuição geográfica, e, averiguaram que 14% (ou 422 espécies das 3.001 analisadas) se encontram sob risco de extinção. Dessas, 176 se enquadram como Vulnerável (VU), 147 como Em Perigo (EN) e 99 como Criticamente

em Periogo (CR). Agropecuária, produção de energia, expansão urbana, poluição e exploração são respectivamente as principais ameaças às espécies de peixes continentais (ICMBio, 2018).

2.4 Importância de Estudos em Áreas Protegidas

Os ecossistemas de água doce são ambientes extremamente heterogêneos e caracterizados particularmente por suas peculiaridades geomorfológicas e hidrológicas (ALLAN, 2004). Os riachos, por exemplo, possuem grandes alterações ao longo de seu percurso resultando em uma elevada diversidade de habitats além de estarem expostos a constantes alterações espaço-temporais que afetam toda a fauna local e suas interações (ESTEVES & ARANHA, 1999; ROCHA et al., 2009). Esses ambientes são caracterizados pela presença da vegetação ripária que bloqueia completamente ou parcialmente a incidência solar, desta forma a produção autotrófica primária nos riachos é baixa e a comunidade é predominantemente heterotrófica (VANNOTE et al., 1980; PERES-NETO et al., 1995; CASTRO, 2021). Devido a essas características, os riachos estão diretamente relacionados com o ambiente adjacente que é responsável por fornecer suprimento orgânico e inorgânico para o meio aquático, atuando fortemente nas trocas de energia (VITAL et al., 2004; FERREIRA et al., 2012). Ademais, a paisagem ribeirinha também atua no provimento de serviços estruturais, como controle da erosão e manutenção da heterogeneidade de micro-habitat (BAXTER et al., 2005; BOULTON et al., 2008).

Tanto a variedade como a variabilidade do habitat são fundamentais para a seleção da elevada biodiversidade encontrada em riachos (ALLAN, 2004). Ações humanas que perturbem esses ambientes, como a degradação da vegetação ribeirinha e substituição por áreas agrícolas ou urbanas, resultam frequentemente em ambientes menos heterogêneos afetando toda a biota e podendo levar muitas espécies à extinção (ALLAN, 2004; REIS et al., 2016). Essas modificações estruturais, físicas e químicas nas condições ambientais afetam todo o ecossistema e, conseqüentemente, a performance dos peixes nesses ambientes (VEJŘÍKOVÁ et al., 2017). A riqueza de espécies, disponibilidade de recursos, competição intra e interespecífica e a coexistência são exemplos de alguns parâmetros ecológicos afetados, que desencadeiam um efeito em cascata em toda a dinâmica ecossistêmica (DA SILVA et al., 2012; CORREA & WINEMILLER, 2014; DELARIVA et al., 2018; NEVES et al., 2018). Neste cenário, estudos sobre a biologia e ecologia das espécies em áreas de preservação são fundamentais, pois os mesmos podem permear diversos níveis de organização biológica,

permitindo a compreensão dos processos relacionados a manutenção da diversidade de espécies e o manejo sustentável de ambientes (ESTEVEVES et al., 2021).

2.5 Variações Intraespecíficas e Especialização individual

Dentro das populações, os indivíduos podem diferir em diversos aspectos, como nas defesas anti-predador, resistência ou exposição aos parasitas, tolerâncias abióticas, uso de recursos ou habilidade competitiva (ARAÚJO et al., 2011; BOLNICK et al., 2011). Essas variações intraespecíficas estão relacionadas principalmente à forma do corpo, comportamento e fisiologia e possuem grande relevância, pois fornecem matéria prima para a seleção natural e são um foco-chave na teoria evolutiva (BOLNICK et al., 2011). Desta forma, surge o conceito da especialização individual, que pode ser definida como a variação da preferência ou desempenho de um indivíduo devido às características intrínsecas, como morfologia ou comportamento e sua relação com fatores extrínsecos do ambiente, como interações sociais e interconexões de recursos (BOLNICK et al., 2003).

É estabelecida uma forte relação entre a morfologia dos indivíduos e o seu comportamento alimentar (BALDASSO et al., 2019; NEVES et al., 2015). De acordo com os princípios da teoria do forrageamento ótimo (OFT, STEPHENS & KREBS, 1986) os indivíduos buscam maximizar seu ganho energético optando por itens alimentares que sejam mais rentáveis em relação ao custo dispendido para sua obtenção. Muitos fatores intrínsecos e extrínsecos podem influenciar no consumo dos recursos alimentares, como as variações espaciais e sazonais, a disponibilidade de recursos e as especializações alimentares (ABELHA et al., 2001). A dinâmica sazonal, por exemplo, tem impacto direto na disponibilidade de recursos alimentares para o ambiente aquático, existindo uma correlação entre o período chuvoso (maior abundância de itens alóctones) a maior especialização individual em alguns peixes (JIRKA & KRAFT, 2017; DA CUNHA et al., 2018; NEVES et al., 2018).

A alimentação dos peixes afeta a transferência de energia, o desempenho individual dos predadores e presas, sua distribuição e abundância e, conseqüentemente, a estrutura das comunidades biológicas e o funcionamento dos ecossistemas (ESTEVEVES et al., 2021). Contudo, estudos acerca da ecologia trófica, muitas vezes negligenciaram as variações intraespecíficas ao assumir o nicho da espécie como a soma do nicho dos indivíduos (AGUIARO & CARAMASCHI, 1998; LIMA-JUNIOR & GOITEIN, 2003; PERETTI & ANDRIAN, 2004; BUCHHEISTER & LATOUR, 2015). Este agrupamento pode resultar em um aumento da riqueza de recursos consumidos pela população, indicando a presença de uma espécie

generalista. Contudo, espécies ditas generalistas podem ser de fato compostas por indivíduos especialistas que usam pequenos subconjuntos do nicho total da população (BOLNICK et al., 2002; ARAÚJO et al., 2010). A especialização individual já é relatada para diversos grupos de invertebrados e vertebrados onde os peixes se destacam (BOLNICK et al., 2003; ARAÚJO et al., 2011). Os efeitos da variação de nicho podem alterar a estabilidade, a abundância média e o risco de extinção de determinadas populações, bem como o potencial de coexistência entre as espécies (COSTA et al., 2015).

2.6 Morfologia Corpórea

Para compreender os mecanismos que estruturam as populações de peixes, diversos pesquisadores usaram a abordagem da ecomorfologia como ferramenta para compreender os padrões morfológicos dos indivíduos (NORTON et al., 1995; WINEMILLER et al., 1995; COCHRAN-BIEDERMAN & WINEMILLER, 2010; MISE et al., 2013; NEVES et al., 2015; WINEMILLER, 2015; BALDASSO et al., 2019). Para isso, caracteres morfológicos são obtidos através de medidas lineares e áreas previamente definidas devido a sua capacidade de capturar informações relacionadas à ocupação do habitat, comportamento de nado e ecologia trófica (OLIVEIRA et al., 2010; PAGOTTO et al., 2011). A abordagem ecomorfológica consiste na ideia de que a morfologia está relacionada ou é indicativa da variedade de recursos utilizada pelos organismos (RICKLEFS & MILES, 1994; TEIXEIRA & BENNEMANN, 2007; MAZZONI et al., 2010; SAMPAIO & GOULART, 2011; MISE et al., 2013). Esta premissa permeia a expectativa de que ecomorfotipos semelhantes explorem tipos de habitats e recursos tróficos similares (BOWER & PILLER, 2015). Nesse cenário, é verificadas correlações entre os aspectos morfológicos, como a morfologia do aparato trófico, a diversidade e tamanho de recursos, e a plasticidade trófica dos peixes (ABELHA et al., 2001; BONATO et al., 2017).

Outra abordagem morfológica, que vem ganhando espaço no meio científico é a morfometria geométrica. Essa análise vem se destacando como uma abordagem alternativa que é mais eficaz na captura de informações mais acuradas sobre a forma de um organismo, utilizando análises estatísticas mais robustas (FOSTER et al., 2008; COOPER & WESTNEAT, 2009). Em relação à morfologia tradicional, a morfometria geométrica é mais eficiente para avaliar efeitos sutis na variação individual entre organismos semelhantes e, até mesmo, nas variações intraespecíficas (ROHLF & MARCUS, 1993). Isso é possível devido à capacidade dessa análise de conservar a homologia dos *landmarks* entre os indivíduos e gerar uma comparação mais realista entre as formas dos corpos (ROHLF & MARCUS, 1993).

2.7 Considerações sobre *Apareiodon vladii*

Popularmente conhecida como “canivete”, pertencente à ordem Characiformes e à família Parodontidae, *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006 é um peixe de pequeno porte encontrado na região Neotropical. A espécie possui distribuição nas bacias dos rios Piquiri e Ivaí e se caracteriza por possuir boca subterminal e corpo alongado com comprimento máximo registrado de 113,4 mm (GRAÇA; PAVANELLI, 2007; OTA et al., 2018). É uma espécie pouco abundante e pouco frequente, encontrada em ambientes de corredeira e registrada em poucas localidades, na bacia do rio Piquiri e uma na bacia do rio Ivaí (ICMBio, 2018). Levando em consideração projetos de construção de diversas hidrelétricas nas bacias de ocorrência, esses empreendimentos são ameaças em potencial à espécie, e por isso essa espécie foi avaliada como Vulnerável (VU) (ICMBio, 2018).

Espécies de *Apareiodon* são comumente encontradas em habitats de corredeiras com águas bem oxigenadas e substrato rochoso, são peixes de hábito alimentar algívoro que se posicionam entre as rochas para realizar a raspagem e obter seu alimento (PAVANELLI, 2006). *Apareiodon vladii* se caracteriza por possuir nadadeiras emparelhadas muito desenvolvidas e, recobertas por uma espessa cobertura de tecido (PAVANELLI, 2006). Essa configuração aumenta a performance locomotora da espécie, favorecendo o seu deslocamento e a sua alimentação por meio de raspagem em cachoeiras (PAVANELLI, 2006). Apesar de se encontrar na lista de espécies ameaçadas, com exceção do artigo de descrição, não existem estudos sobre esta espécie. Preencher essa lacuna de conhecimento é extremamente importante para compreender a vulnerabilidade da espécie e propor ações de manejo para a sua preservação.

REFERÊNCIAS

- ABELHA, M. C. F.; AGOSTINHO, A. A.; GOULART, E. Plasticidade trófica em peixes de água doce. **Acta Scientiarum**, v. 23, n.2, p. 425-434, 2001.
- AGUIARO, T.; CARAMASCHI, É. P. Trophic guilds in fish assemblages in three coastal lagoons of Rio de Janeiro State (Brazil). **Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen**, v. 26, n. 5, p. 2166-2169, 1998.
- ALBERT, J. S.; TAGLIACOLLO, V. A.; DAGOSTA, F. Diversification of Neotropical freshwater fishes. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 51, p. 27-53, 2020.
- ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics.**, v. 35, p. 257-284, 2004.
- ARAÚJO, M. S. et al. Nested diets: a novel pattern of individual-level resource use. **Oikos**, v. 119, n. 1, p. 81-88, 2010.
- ARAÚJO, M. S. et al. Network analysis reveals contrasting effects of intraspecific competition on individual vs. population diets. **Ecology**, v. 89, n. 7, p. 1981-1993, 2008.
- ARAÚJO, M. S.; BOLNICK, D. I.; LAYMAN, C. A. The ecological causes of individual specialisation. **Ecology Letters**, v. 14, n. 9, p. 948-958, 2011.
- BALDASSO, M. C. et al. Ecomorphological variations and food supply drive trophic relationships in the fish fauna of a pristine neotropical stream. **Environmental Biology of Fishes**, v. 102, p. 783-800, 2019.
- BAXTER, C. V.; FAUSCH, K. D.; CARL SAUNDERS, W. Tangled webs: reciprocal flows of invertebrate prey link streams and riparian zones. **Freshwater biology**, v. 50, n. 2, p. 201-220, 2005.
- BOLNICK, D. I. et al. Measuring individual-level resource specialization. **Ecology**, v. 83, n. 10, p. 2936-2941, 2002.
- BOLNICK, D. I. et al. The ecology of individuals: incidence and implications of individual specialization. **The American Naturalist**, v. 161, n. 1, p. 1-28, 2003.
- BOLNICK, D. I. et al. Why intraspecific trait variation matters in community ecology. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 26, n. 4, p. 183-192, 2011.
- BONATO, K. O.; BURRESS, E. D.; FIALHO, C. B. Dietary differentiation in relation to mouth and tooth morphology of a neotropical characid fish community. **Zoologischer Anzeiger**, v. 267, p. 31-40, 2017.
- BOULTON, A. J. et al. Are tropical streams ecologically different from temperate streams?. In: **Tropical Stream Ecology**. Academic Press, 2008. p. 257-284.
- BOWER, L. M.; PILLER, K. R. Shaping up: a geometric morphometric approach to assemblage ecomorphology. **Journal of Fish Biology**, v. 87, n. 3, p. 691-714, 2015.

BUCHHEISTER, A.; LATOUR, R. J. Diets and trophic-guild structure of a diverse fish assemblage in Chesapeake Bay, USA. **Journal of Fish Biology**, v. 86, n. 3, p. 967-992, 2015.

BURNS, M. D.; SIDLAUSKAS, B. L. Ancient and contingent body shape diversification in a hyperdiverse continental fish radiation. **Evolution**, v. 73, n. 3, p. 569-587, 2019.

CASTRO, R. M. C. Evolução da ictiofauna de riachos sul-americanos (Castro, 1999) revisitado após mais de duas décadas. **Oecologia Australis**, v. 25, n. 2, p. 245, 2021.

CASTRO, R.; POLAZ, C. N. M. Small-sized fish: the largest and most threatened portion of the megadiverse neotropical freshwater fish fauna. **Biota Neotropica**, v. 20, 2019.

COCHRAN-BIEDERMAN, J. L.; WINEMILLER, K. O. Relationships among habitat, ecomorphology and diets of cichlids in the Bladen River, Belize. **Environmental Biology of Fishes**, v. 88, p. 143-152, 2010.

COLLEN, B. et al. Global patterns of freshwater species diversity, threat and endemism. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 1, p. 40-51, 2014.

COLLIER, C. A. et al. Effects of anthropic actions and forest areas on a neotropical aquatic ecosystem. **Science of The Total Environment**, v. 691, p. 367-377, 2019.

COOPER, W. J.; WESTNEAT, M. W. Form and function of damselfish skulls: rapid and repeated evolution into a limited number of trophic niches. **BMC Evolutionary Biology**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2009.

CORREA, S. B.; WINEMILLER, K. O. Niche partitioning among frugivorous fishes in response to fluctuating resources in the Amazonian floodplain forest. **Ecology**, v. 95, n. 1, p. 210-224, 2014.

COSTA, A. et al. Generalisation within specialization: inter-individual diet variation in the only specialized salamander in the world. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2015.

DA CUNHA, A. F.; WOLFF, L. L.; HAHN, N. S. Seasonal changes at population and individual levels in the diet of juvenile catfish in a Neotropical floodplain. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 33, n. 1, p. 273-284, 2018.

DA SILVA, J. C. et al. Coexisting small fish species in lotic neotropical environments: evidence of trophic niche differentiation. **Aquatic Ecology**, v. 51, p. 275-288, 2017.

DELARIVA, R. L. et al. Fish fauna in forested and rural streams from an ecoregion of high endemism, lower Iguazu River basin, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 18, 2018.

DUDGEON, D. et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews**, v. 81, n. 2, p. 163-182, 2006.

ESTEVEZ, K. E.; ARANHA, J. M. R. Ecologia trófica de peixes de riachos. **Série Oecologia Brasiliensis**, v. 6, p. 157-182, 1999.

ESTEVEZ, K. E.; ARANHA, J.; ALBRECHT, M. P. Ecologia trófica de peixes de riacho: Uma releitura 20 anos depois. **Oecologia Australis**, v. 25, n. 2, p. 282, 2021.

- EVANS, K. M. et al. Ecomorphology of neotropical electric fishes: An integrative approach to testing the relationships between form, function, and trophic ecology. **Integrative Organismal Biology**, v. 1, n. 1, p. obz015, 2019.
- FERREIRA, A. et al. Riparian coverage affects diets of characids in neotropical streams. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 21, n. 1, p. 12-22, 2012.
- FOSTER, D. J.; PODOS, J.; HENDRY, A. P. A geometric morphometric appraisal of beak shape in Darwin's finches. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 21, n. 1, p. 263-275, 2008.
- GRAÇA, W. J., & PAVANELLI, C. S. **Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes**. Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2007.
- ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. VI–Peixes, 2018.
- IMRE, I.; MCLAUGHLIN, R. L.; NOAKES, D. L. G. Phenotypic plasticity in brook charr: changes in caudal fin induced by water flow. **Journal of Fish Biology**, v. 61, n. 5, p. 1171-1181, 2002.
- IUCN. International Union for Conservation of Nature. **The IUCN Red List of Threatened Species Version 2020-3**. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org>> Acesso em: 15 mar. 2022.
- JIRKA, K. J.; KRAFT, C. E. Diet niche width and individual specialization of brook trout in Adirondack Lakes. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 146, n. 4, p. 716-731, 2017.
- JOLY, C. A. Biodiversity and climate change in the Neotropical region. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 1, p. 1-2, 2008.
- LARENTIS, C. et al. Effects of human disturbance on habitat and fish diversity in Neotropical streams. **Plos One**, v. 17, n. 9, p. e0274191, 2022.
- LEAL, C. G.; JUNQUEIRA, N. T.; POMPEU, P. S. Morphology and habitat use by fishes of the Rio das Velhas basin in southeastern Brazil. **Environmental biology of fishes**, v. 90, p. 143-157, 2011.
- LEVÊQUE, C. et al. Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *In*: **Freshwater Animal diversity assessment**. Springer, Dordrecht, 2007. p. 545-567.
- LIMA-JUNIOR, S. E.; GOITEIN, R. Ontogenetic diet shifts of a Neotropical catfish, *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae): An ecomorphological approach. **Environmental Biology of Fishes**, v. 68, n. 1, p. 73-79, 2003.
- MAZZONI, R. et al. Alimentação e padrões ecomorfológicos das espécies de peixes de riacho do alto rio Tocantins, Goiás, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 100, n. 2, p. 162-168, 2010.
- MISE, F. T. et al. The coexistence of endemic species of *Astyanax* (Teleostei: Characidae) is propitiated by ecomorphological and trophic variations. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 3, p. 21-28, 2013.

- MOYA, N. et al. Macroinvertebrate-based multimetric predictive models for evaluating the human impact on biotic condition of Bolivian streams. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 3, p. 840-847, 2011.
- NELSON, J. S.; GRANDE, T. C.; WILSON, M. V. H. **Fishes of the World**. John Wiley & Sons, 2016.
- NEVES, M. P. et al. Is resource partitioning the key? The role of intra-interspecific variation in coexistence among five small endemic fish species (Characidae) in subtropical rivers. **Journal of Fish Biology**, v. 93, n. 2, p. 238-249, 2018.
- NEVES, M. P.; DELARIVA, R. L.; WOLFF, L. L. Diet and ecomorphological relationships of an endemic, species-poor fish assemblage in a stream in the Iguaçu National Park. **Neotropical Ichthyology**, v. 13, p. 245-254, 2015.
- NORTON, S. F.; LUCZKOVICH, J. J.; MOTTA, P. J. The role of ecomorphological studies in the comparative biology of fishes. **Ecomorphology of Fishes**, p. 287-304, 1995.
- OLIVEIRA, E. F. et al. Ecomorphological patterns of the fish assemblage in a tropical floodplain: effects of trophic, spatial and phylogenetic structures. **Neotropical Ichthyology**, v. 8, n. 3, p. 569-586, 2010.
- OTA, R. R. et al. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: revised, annotated and updated. **Neotropical Ichthyology**, v. 16, n. 2, 2018.
- PAGOTTO, J. P. A. et al. Trophic ecomorphology of Siluriformes (Pisces, Osteichthyes) from a tropical stream. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, p. 469-479, 2011.
- PAVANELLI, C. S. New species of Apareiodon (Teleostei: Characiformes: Parodontidae) from the rio Piquiri, upper rio Paraná basin, Brazil. **Copeia**, v. 2006, n. 1, p. 89-95, 2006.
- PERES-NETO, P. R. et al. An overview of some aspects of river ecology: a case study on fish assemblages distribution in an eastern Brazilian coastal river. **Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros**, v. 1, 1995.
- PERETTI, D.; DE FATIMA ANDRIAN, I. Trophic structure of fish assemblages in five permanent lagoons of the high Paraná River floodplain, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, v. 71, n. 1, p. 95-103, 2004.
- POTTS, L. B.; MANDRAK, N. E.; CHAPMAN, L. J. Coping with climate change: phenotypic plasticity in an imperilled freshwater fish in response to elevated water temperature. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 31, n. 10, p. 2726-2736, 2021.
- REID, A. J. et al. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. **Biological Reviews**, v. 94, n. 3, p. 849-873, 2019.
- REIS, R. E. et al. Fish biodiversity and conservation in South America. **Journal of Fish Biology**, v. 89, n. 1, p. 12-47, 2016.

- RICKLEFS, R. E.; MILES, D. B. Ecological and evolutionary inferences from morphology: an ecological perspective. **Ecological Morphology: integrative organismal biology**, v. 1, p. 13-41, 1994.
- ROCHA, F. C.; CASATTI, L.; PEREIRA, D. C. Structure and feeding of a stream fish assemblage in Southeastern Brazil: evidence of low seasonal influences. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 21, n. 1, p. 123-134, 2009.
- ROHLF, F. J.; MARCUS, L. F. A revolution morphometrics. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 8, n. 4, p. 129-132, 1993.
- ROXO, F. F. et al. Shift from slow-to fast-water habitats accelerates lineage and phenotype evolution in a clade of Neotropical suckermouth catfishes (Loricariidae: Hypoptopomatinae). **Plos One**, v. 12, n. 6, p. e0178240, 2017.
- SAMPAIO, A. L. A.; GOULART, E. Ciclídeos neotropicais: ecomorfologia trófica. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 4, p. 775-798, 2011.
- STEPHENS, D. W.; KREBS, J. R. **Foraging Theory**. Princeton: University of Chicago Press, 1986.
- STRAYER, D. L.; DUDGEON, D. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 29, n. 1, p. 344-358, 2010.
- TAGLIACOLLO, V. A. et al. Assessing extinction risk from geographic distribution data in Neotropical freshwater fishes. **Neotropical Ichthyology**, v. 19, 2021.
- TEIXEIRA, I.; BENNEMANN, S. T. Ecomorfologia refletindo a dieta dos peixes em um reservatório no sul do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 7, n. 2, p. 67-76, 2007.
- VANNOTE, R. L. et al. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980.
- VARI, R. P.; MALABARBA, L. R. Neotropical ichthyology: an overview. **Phylogeny and classification of Neotropical fishes**, v. 1, p. 1-12, 1998.
- VEJŘÍKOVÁ, I. et al. Macrophytes shape trophic niche variation among generalist fishes. **Plos One**, v. 12, n. 5, p. e0177114, 2017.
- VITAL, A. R. T. et al. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.
- VÖRÖSMARTY, C. J. et al. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, n. 7315, p. 555-561, 2010.
- WILLIS, S. C.; WINEMILLER, K. O.; LOPEZ-FERNANDEZ, H. Habitat structural complexity and morphological diversity of fish assemblages in a Neotropical floodplain river. **Oecologia**, v. 142, p. 284-295, 2005.
- WINEMILLER, K. O. et al. Functional traits, convergent evolution, and periodic tables of niches. **Ecology Letters**, v. 18, n. 8, p. 737-751, 2015.

WINEMILLER, K. O.; KELSO-WINEMILLER, L. C.; BRENKERT, A. L.

Ecomorphological diversification and convergence in fluvial cichlid fishes. **Ecomorphology of Fishes**, p. 235-261, 1995.

ZIOBER, S. R.; REYNALTE-TATAJE, D. A.; ZANIBONI-FILHO, E. The importance of a conservation unit in a subtropical basin for fish spawning and growth. **Environmental Biology of Fishes**, v. 98, p. 725-737, 2015.

***Apareiodon vladii* é um algívoro? atributos morfológicos e tróficos de uma espécie vulnerável em riachos subtropicais**

Artigo elaborado e formatado conforme as normas para publicação científica no periódico *Ecology of Freshwater Fish* disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/16000633>

RESUMO

Variações intraespecíficas atuam como mecanismos para coexistência dos indivíduos, onde a plasticidade fenotípica e as especializações individuais são fenômenos frequentemente comuns em peixes. Foram testados diversos atributos ecológicos para compreender a dinâmica de interações de *Apareiodon vladii*, uma espécie ameaçada de extinção. Para tanto, os peixes foram coletados em março de 2022 em duas estações ecológicas, no município de Iretama, Paraná, Brasil. A abordagem de morfometria geométrica foi utilizada para obtenção dos padrões corpóreos, bem como, foram levantadas características morfológicas do aparato trófico. O conteúdo estomacal foi analisado pelo método volumétrico e pela densidade de organismos fitoplanctônicos. Foi identificadas tendências de padrões morfológicos espacialmente onde a curvatura do corpo e posição do focinho foram os principais traços morfológicos que segregaram os indivíduos. A dieta da espécie foi composta predominantemente por alga, porém foi observada contribuições de briófitas, insetos aquáticos e, inesperadamente, vegetal terrestre em um dos pontos amostrados. Foi identificada uma grande riqueza de algas, com predominância das classes Cyanophyceae, Bacillariophyceae e Mediophyceae. Correlações positivas e fortes foram encontradas entre a morfologia dos rastros branquiais e o item alimentar alga, e o item briófita correlacionou-se ao coeficiente intestinal. A espécie exibiu elevada variação intraespecífica e especialização individual quando analisada como um todo. Quando analisado o fator espacial, as variações ainda existiram, porém o grau de relação foi dependente das condições do ambiente. Nossos resultados fornecem informações inéditas sobre a espécie, que até o presente momento não possuía quaisquer estudos acerca de sua biologia. Concomitantemente, o estudo fornece novos *insights* sobre os padrões ecológicos que atuam na coexistência dos indivíduos. Com esses achados a implementação de planos de manejo para conservação da espécie serão mais efetivos.

Palavras-chave: Espécie ameaçada. Morfometria geométrica. Morfologia trófica. Especialização individual. Algívorvia. Coexistência intraespecífica.

ABSTRACT

Intraspecific variations act as mechanisms for individual coexistence, where phenotypic plasticity and individual specializations are frequently common phenomena in fish. Various ecological attributes were tested to understand the dynamics of interactions of *Apareiodon vladii*, a species threatened with extinction. To this end, the fish were collected in March 2022 at two ecological stations in the municipality of Iretama, Paraná, Brazil. Geometric morphometric analysis was used to obtain body patterns, and morphological characteristics of the trophic apparatus were recorded. Stomach content was analyzed using volumetric and phytoplankton organism density methods. Spatial patterns of morphological variations were identified, with body curvature and snout position being the main morphological traits that segregated individuals. The species' diet consisted primarily of algae, but contributions from bryophytes, aquatic insects, and unexpectedly, terrestrial plants were observed at one of the sampling points. A high diversity of algae was identified, with a predominance of the Cyanophyceae, Bacillariophyceae, and Mediophyceae classes. Strong positive correlations were found between the morphology of the gill rakers and the algal food item, and the bryophyte item was correlated with the intestinal coefficient. The species displayed high intraspecific variation and individual specialization when analyzed as a whole. When analyzed in a spatial context, variations still existed, but the degree of relationship depended on environmental conditions. Our results provide unprecedented information about the species, which had no prior studies on its biology. Concurrently, the study offers new insights into the ecological patterns that contribute to individual coexistence. With these findings, the implementation of conservation management plans for the species will be more effective.

Keywords: Endangered species. Geometric morphometrics. Trophic morphology. Individual specialization. Algivory. Intraspecific coexistence.

Introdução

Os ecossistemas de água doce são considerados *hotspots* de biodiversidade, onde, dentro da região neotropical, o Brasil se destaca por ser considerado o detentor da maior riqueza ictiofaunística (COLLEN et al., 2014; NELSON et al., 2016; REIS et al., 2016; CASTRO & POLAZ 2019). Essa elevada riqueza está atrelada a diversos processos geológicos, topográficos e climáticos, assim como a presença de bacias que são conhecidas pela presença de diversas espécies endêmicas (VARI & MALABARBA, 1998; REIS et al., 2016; ALBERT et al., 2020). Contudo, esses ambientes são intensivamente explorados por ações antrópicas e cerca de 14% das espécies neotropicais de peixes de água doce se encontram sob ameaça de extinção (REIS et al., 2016; REID et al., 2019; TAGLIACOLLO et al., 2021). Dentre as diversas formas de degradação desses ambientes, destacamos a retirada da vegetação ciliar e alterações no fluxo, que impactam nas funções ecossistêmicas, resultando em ameaças e vulnerabilidade de extinção de espécies (FERREIRA et al., 2012; REIS et al., 2016; COLLIER et al., 2019).

Popularmente conhecida como “canivete”, *Apareiodon vladii* Pavanelli, 2006 (Characiformes, Parodontidae), é um peixe de pequeno porte encontrado na região Neotropical. É uma espécie pouco abundante e com distribuição restrita às bacias dos rios Piquiri e Ivaí (GRAÇA & PAVANELLI, 2007; ICMBio, 2018; OTA et al., 2018). Em razão da dependência de ambientes com correntezas, a espécie tem sido listada na categoria de vulnerável (ICMBio, 2018), especialmente em função das alterações no fluxo dos rios pelos barramentos. *Apareiodon vladii* se caracteriza por possuir boca subterminal e corpo alongado, com nadadeiras emparelhadas muito desenvolvidas e, recobertas por uma espessa cobertura de tecido (PAVANELLI, 2006; GRAÇA & PAVANELLI, 2007; OTA et al., 2018). Espécies desse gênero são comumente encontrados em habitats de corredeiras com águas bem oxigenadas e substrato rochoso (PAVANELLI, 2006), onde se posicionam entre as rochas e realizam a raspagem para obter seu alimento.

O uso do habitat, a forma de obtenção do alimento e a maneira como as espécies lidam frente a heterogeneidade e elevadas oscilações espaço-temporais na disponibilidade de recursos dos ambientes neotropicais, são atrelados à morfologia corpórea e do aparato bucal dos teleósteos (ABELHA et al., 2001; POUGH et al., 2003). A morfologia dos peixes está fortemente ligada ao micro-habitat onde eles têm melhor desempenho, e as variações no ambiente afetam a diversidade na forma do corpo por meio da plasticidade fenotípica (IMRE et al., 2002; WILLIS et al., 2005; LEAL et al., 2011; POTTS et al., 2021). Existe uma relação

entre a morfologia corporal e a alimentação dos peixes, onde é esperado que a morfologia seja indicativa do nicho trófico das espécies (RICKLEFS & MILES, 1994; TEIXEIRA & BENNEMANN, 2007; MAZZONI et al., 2010; SAMPAIO & GOULART, 2011; MISE et al., 2013). Desta forma, variações intraespecíficas em traços morfológicos podem afetar diretamente a alimentação destes peixes. Ainda, a plasticidade trófica exibida por grande parte da ictiofauna e as variações individuais adicionam complexidade no entendimento da performance, ocorrência e vulnerabilidade de uma espécie (ABELHA et al., 2001; CORREA & WINEMILLER, 2014; NEVES et al., 2018).

Nesse sentido, por muito tempo, estudos de ecologia trófica desconsideraram as variações e especializações individuais (BOLNICK et al., 2003; ARAÚJO et al., 2010; ARAÚJO et al., 2011). Contudo, sabe-se que indivíduos de uma mesma espécie podem apresentar diferenças sutis em relação à forma do corpo, alimentação, comportamento, fisiologia e estas diferenças são denominadas variações individuais intraespecíficas (BOLNICK et al., 2011). Todas essas variações podem refletir na especialização dos indivíduos, possuindo papel chave para a estabilidade, abundância e risco de extinção de determinadas populações (BOLNICK et al., 2003; ARAÚJO et al., 2010; COSTA et al., 2015).

A literatura a respeito de *A. vladii* é extremamente escassa, com poucos registros e poucas informações referentes à biologia da espécie. Não são relatados estudos acerca da sua dieta e variações intraespecíficas relacionadas com a morfologia e sua alimentação, dificultando a compreensão de como esta espécie se posiciona e interage nos ecossistemas aquáticos. Nesse contexto, nosso objetivo é descrever aspectos morfológicos que implicam na forma corporal e trófica, além da dieta e variações na especialização individual. Assim, testou-se as seguintes predições: i) indivíduos de diferentes ambientes apresentam variações morfológicas corporais intraespecíficas; ii) existem diferenças significativas no uso dos recursos espacialmente; iii) a morfologia trófica é correlacionada com grupos específicos de recursos alimentares; iv) a dieta da espécie apresenta variações intraespecíficas; v) ocorre influência espacial nas preferências alimentares. Nossa expectativa é a de que essas variações intraespecíficas na morfologia e a especialização alimentar sejam relacionadas ao ambiente e atuem na coexistência dos indivíduos dessa espécie que é geograficamente restrita e se encontra sob ameaça de extinção.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo compreende ao município de Iretama (24°25'26" S e 52°06'21" W) que se situa na região Centro-Oeste do Paraná, inserido na bacia hidrográfica do rio Ivaí. O município abrange uma área territorial de 56.776 hectares, possui altitude de 590 m acima do nível do mar e população estimada de 10.622 habitantes de acordo com o último censo (IBGE, 2010). Devido ao relevo bastante acidentado o município se caracteriza por possuir um dos maiores números de minifundiários do país. Segundo a classificação de Köppen, essa região apresenta clima subtropical úmido mesotérmico (Cfa) caracterizado por possuir verões quentes com chuvas fortes, geadas pouco frequentes e sem estação seca definida. A vegetação nativa da região é composta pela Floresta Ombrófila Mista, entretanto, encontra-se praticamente devastada devido a intensa atividade agrícola.

Em seu domínio, o município conta com duas unidades de conservação municipais que estão cadastradas no grupo de Proteção Integral na categoria estação ecológica. As unidades são denominadas Estação Ecológica Municipal Dama do Abismo, abrangendo área de 70 hectares (IRETAMA, 2017) e Estação Ecológica Municipal Rio Formoso, com 118 hectares (IRETAMA, 2019). O tipo climático dessas unidades de conservação é o subtropical úmido, com verões quentes e úmidos, temperaturas superiores a 22°C e mais de 30mm de chuva durante o mês mais seco (IAPAR, 2019). A vegetação predominante das Estações Ecológicas é a Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual e o solo é classificado como neossolo, latossolo e nitossolo (IBGE, 2004; EMBRAPA, 2020).

Amostragem

A amostragem dos peixes foi realizada em três pontos previamente definidos: dois na Estação Ecológica Municipal Dama do Abismo, sendo um ponto no rio Muquilão (P1) e o outro no córrego Ouro Verde (P2) e um inserido na Estação Ecológica Municipal Rio Formoso, no rio Laranjeiras (P3 – Figura 1). As coletas foram realizadas em março de 2022. Os exemplares foram coletados através da técnica de pesca elétrica que consiste em um gerador portátil de corrente elétrica (220V, 50-60Hz, 3,4-4,1A, 100W), ligados a dois eletrodos por um cabo flexível com 60 m de extensão. Em cada ponto de amostragem foi realizada três coletas sucessivas no sentido jusante-montante, com duração aproximada de 40 minutos cada em um trecho correspondente a 50 metros. Para a descrição do ambiente no entorno e a caracterização dos micro-habitats o Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de

bacias hidrográficas (CALLISTO et al., 2002) foi aplicado durante as coletas dos peixes (Tabela 1). Adicionalmente foram tomados os parâmetros físicos e químicos da água com o auxílio da sonda multiparâmetros Horiba.

Após capturados, os peixes foram acondicionados em sacos plásticos, anestesiados com Eugenol, fixados em formol 4% e conservados em álcool 70% (AVMA et al., 2001) conforme aprovado pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal (Licença Sisbio nº. 25039-1, nº. 14-22). Espécimes testemunhos foram depositados na coleção de peixes do Nupélia (Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura), Universidade Estadual de Maringá-UEM.

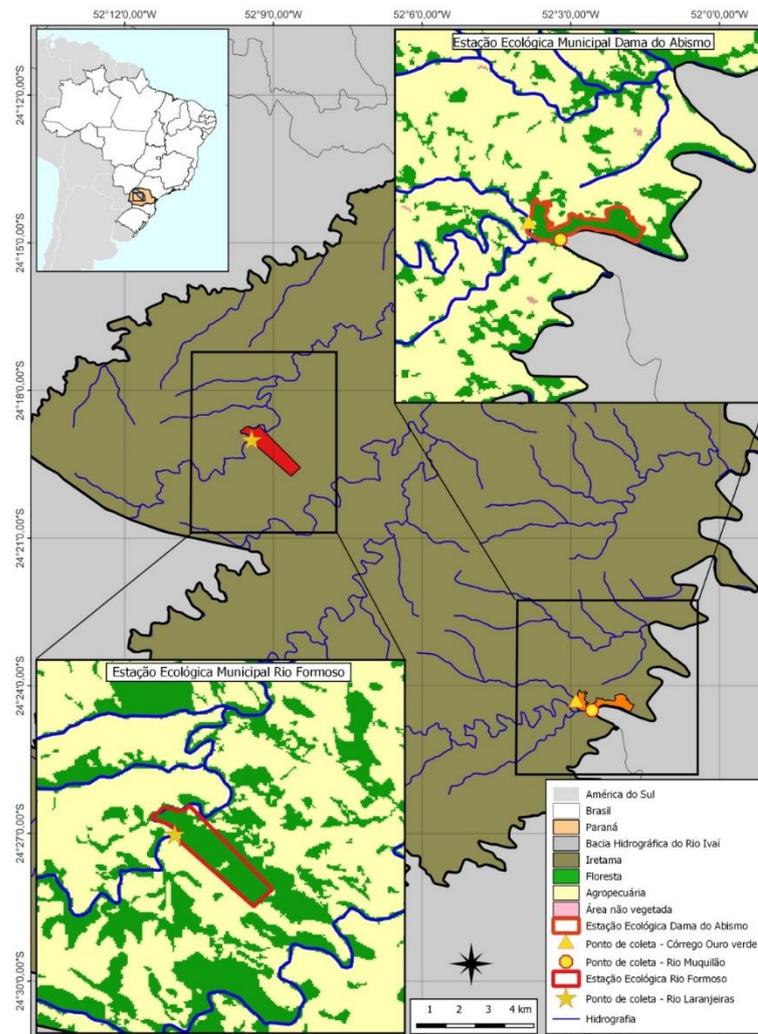


Figura 1: Área de estudo e pontos de amostragem distribuídos na bacia hidrográfica do rio Ivaí, no município de Iretama, Paraná, Brasil.

Tabela 1: Características físicas dos locais amostrados na bacia hidrográfica do rio Ivaí, no município de Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquilão; OUVE= Córrego Ouro Verde.

Local	Largura (m)	Ocupação das margens	Erosão das margens	Alterações antrópicas	Odor (água e sedimento)	Substrato	Composição do substrato	Frequência de rápidos	Mata ciliar	Presença de plantas aquáticas
LARJ	13.2	Vegetação natural e agricultura	Moderada	Presente	Ausente	Fundo pedregoso, seixos ou lamoso	Mais de 50% com habitats diversificados, pedaços de troncos submersos, cascalho ou outros habitats estáveis	Rápidos frequentes	Entre 70% e 90%	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos, substrato com perifíton
MUQL	35.7	Vegetação natural e agricultura	Moderada	Presente	Ausente	Fundo pedregoso, seixos ou lamoso	30 a 50% de habitats diversificados, habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos	Rápidos ou corredeiras ocasionais	Entre 70 e 90%	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos, substrato com perifíton
OUVE	5.5	Vegetação natural e agricultura	Ausente	Ausente	Ausente	Seixos abundantes	Mais de 50% com habitats diversificados, pedaços de troncos submersos cascalho ou outros habitats estáveis	Rápidos frequentes	Acima de 90%	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos

Procedimentos laboratoriais

Os indivíduos foram identificados de acordo com Graça & Pavanelli (2007), Ota et al. (2018) e com auxílio de especialistas. Posteriormente, os exemplares foram medidos (comprimento total e padrão, ambos em cm) e pesados (em g). As variações morfológicas foram quantificadas com base em caracteres morfológicos previamente selecionados que possuem relações com a ocupação do habitat, locomoção e ecologia trófica. A morfometria geométrica foi utilizada para avaliar a morfologia corpórea dos indivíduos. Imagens do lado esquerdo dos destes foram obtidas (Modelo: iPhone 11; Resolução: 12 megapixels) tendo como padrão a distância do dispositivo para captura de imagens e os espécimes. As imagens foram digitalizadas utilizando o software tpsUTIL (Rohlf, 2015). Utilizamos 17 marcos anatômicos que foram digitalizados no software TpsDig2 (Rohlf, 2015), sendo eles: 1, ponta anterior do focinho; 2, altura da cabeça; 3, origem da nadadeira dorsal; 4, inserção da nadadeira dorsal; 5, origem do raio dorsal anterior da nadadeira caudal; 6, origem do raio ventral anterior da nadadeira caudal; 7, inserção da nadadeira anal; 8, origem da nadadeira anal; 9, origem da nadadeira pélvica; 10, origem da nadadeira peitoral; 11, interseção da abertura das brânquias e da margem ventral do corpo; 12, borda posterior do opérculo; 13, inserção da nadadeira peitoral; 14, órbita, margem anterior; 15, órbita, margem superior; 16, órbita, margem posterior; 17 órbita, margem inferior (Figura S1).

Posteriormente, os rastros branquiais do segundo arco branquial esquerdo dos mesmos indivíduos, foram cuidadosamente extraídos e fotografados em uma lupa acoplada a uma câmera digital. As imagens foram obtidas com auxílio do estereomicroscópio SZX7 e analisadas por meio das ferramentas de medição contidas no software CellSens Standard. Foram obtidos: o número de rastros branquiais (NR); o comprimento do rastro superior, mediano e inferior, sendo feita uma média entre todos os valores por localidade (CR); medido o espaçamento entre os rastros branquiais (ER). O trato digestivo foi dissecado para se obter o comprimento intestinal, utilizando-se paquímetro digital (precisão: 0,01 mm) e posteriormente, calculou-se o coeficiente intestinal (CI) (Figura S2).

O conteúdo estomacal foi analisado sob microscópio óptico e estereoscópico. Os itens alimentares foram identificados até o menor nível taxonômico possível utilizando-se chaves de identificações específicas (BICUDO & BICUDO, 1970; MUGNAI et al., 2010). A quantificação dos itens alimentares foi realizada com uma placa de vidro milimetrada onde o conteúdo estomacal foi depositado, comprimido e realizada as medidas do volume ocupado

pelos recursos consumidos (HELLAWELL & ABEL, 1971). Ademais, para uma maior acurácia quanto aos gêneros de algas que foram consumidas pelos indivíduos, foi realizada uma análise de densidade de organismos fitoplanctônicos. A identificação dos táxons foi feita utilizando-se literatura especializada, com os trabalhos de Bicudo & Bicudo (1970), Round et al. (1990) e Bicudo & Menezes (2017). A contagem dos indivíduos (células, cenóbios, colônias ou filamentos) foi feita segundo o método de Utermöhl (1958) com prévia sedimentação da amostra. A densidade fitoplanctônica (D) foi calculada de acordo com Eaton et al. (2005) segundo a seguinte fórmula:

$$D = \frac{C * A_T}{A_F * F * V}$$

Onde,

D = Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind.mL⁻¹).

C = Número de organismos contados.

A_T = Área do fundo da câmara de sedimentação (mm²).

A_F = Área do campo de contagem (mm²).

F = Número de campos contados.

V = Volume de amostra sedimentado (mL).

O resultado da densidade foi expresso em indivíduos (células, cenóbios, colônias ou filamentos) por mililitro (ind.mL⁻¹).

Análise dos dados

Após a inserção dos landmarks no software tpsDIG2 foi gerada uma matriz de coordenadas dos pontos de referências que foram sobrepostas através da análise de procrustes generalizada (GPA). Essa análise possui o intuito de remover os efeitos indesejáveis de posição, orientação e escala (ROHLF & MARCUS, 1993). Em seguida, a análise dos componentes principais (PCA) foi aplicada para descrever os eixos principais (componentes principais, PCs) da variação da forma entre os exemplares. Para averiguar a existência de diferenças significativas entre as formas foi aplicada uma análise de variância multivariada (PERMANOVA). As análises GPA, PCA e PERMANOVA foram executadas no software R (www.rproject.org).

Para caracterizar a dieta da espécie o volume ocupado pelos itens alimentares foi convertido em porcentagem e agrupado em três grandes grupos de acordo com a origem desses recursos (autóctone, alóctone, indeterminado). A análise multivariada permutacional de

variância (PERMANOVA) foi utilizada tanto na matriz de volume dos itens alimentares quando na matriz de densidade de organismos fitoplanctônicos para averiguar se existiam diferenças significativas na dieta dos indivíduos entre os diferentes pontos de amostragem. Para investigar a relação entre morfológica trófica e os padrões alimentares exibidos pela espécie foi utilizada a correlação de Spearman. As análises PERMANOVA e a correlação de Spearman também foram executadas no software R (www.rproject.org).

Para avaliar os padrões de variação individual no uso dos recursos alimentares foi aplicado sobre uma única matriz (presença e ausência) os seguintes índices: similaridade proporcional (PSi), variação interindividual (E), coeficiente de agrupamento ponderado (Cws) e o índice de sobreposição e preenchimento decrescente (NODF). PSi foi calculado para mensurar o grau de especialização trófica individual, esse índice compara a dieta do indivíduo com a dieta da população (BOLNICK et al., 2002). PSi varia de 0 (especialização individual máxima) a 1 (ausência de especialização individual) e a média de seus valores podem ser utilizados como uma medida de especialização individual da população. Para avaliar o grau de variação na dieta entre indivíduos de uma mesma população foi utilizado o índice de variação interindividual (E) que é obtido através da média de dissimilaridade da dieta aos pares entre todos os indivíduos (ARAUJO et al., 2008). Quando E é igual a 0 não existe variação de nicho interindividual, ou seja, todos os indivíduos se alimentam exatamente dos mesmos recursos. Com o aumento na variação de nicho, E tende a 1 e desta forma os indivíduos se alimentam de itens distintos. Com um certo grau de variação interindividual, os indivíduos dentro da população podem se organizar de diferentes formas, formando subgrupos que compartilham uma mesma faixa do nicho trófico ou não (ARAUJO et al., 2008; ARAUJO et al., 2010). Para compreender como os recursos são compartilhados pelos indivíduos dentro da população o coeficiente de agrupamento ponderado (Cws) que varia de -1 à +1 foi aplicado (ARAUJO et al., 2008). Quando Cws tende a -1 as dietas individuais são superdispersas onde cada indivíduo usa um item ou uma combinação de itens única dentro da população. Caso a população seja organizada em grupos com indivíduos compartilhando um mesmo subconjunto de recursos Cws tendera a +1. No caso de Cws ser igual a 0 a rede alimentar se demonstra aleatória, não sendo superdispersa e sem a formação de agrupamentos, embora exista um certo compartilhamento de recursos. Para investigar os padrões de redes complexas e interações indivíduo-recurso foi utilizado o índice de sobreposição e preenchimento decrescente (NODF) que é uma métrica para cálculo de aninhamento das dietas dos exemplares (ALMEIDA-NETO et al., 2008). NODF varia de 0 a 100, quando próximo a 0 indica ausência de aninhamento e quando igual a 100

demonstra um perfeito aninhamento. Números maiores indicam que a dieta dos indivíduos mais especialistas, que possuem um nicho trófico estreito, são um subconjunto da dieta dos indivíduos mais generalistas que consomem uma ampla gama de recursos. A combinação de E, Cws e NODF possibilita uma melhor interpretação de como os indivíduos se comportam dentro do nicho trófico total da população, existindo maneiras alternativas de interações (ARAÚJO et al., 2010).

O índice PSi foi obtido através do IndSpec, o índice E e Cws através do Dieta1 e, por fim, valores de NODF foram obtidos através do programa Aninhado3. Demais análises estatísticas (PERMANOVA) foram executadas no ambiente R (www.rproject.org).

Resultados

Variáveis ambientais

Foi identificado no rio Laranjeiras, menor temperatura, pH e condutividade e maiores valores de potencial de óxido-redução e de oxigênio dissolvido (Tabela 2). Acerca da temperatura, condutividade, turbidez e sólidos totais dissolvidos, o rio Muquilão apresentou os maiores valores, além do menor valor de oxigênio dissolvido (Tabela 2). No córrego Ouro Verde, destacou-se o pH mais neutro, menor potencial de óxido-redução e de sólidos totais (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos dos locais amostrados na bacia hidrográfica do rio Ivaí, no município de Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquilão; OUVE= Córrego Ouro Verde; Temp.= Temperatura; ORP= Potencial de oxidação/redução; Cond.= Condutividade; OD= Oxigênio dissolvido; TDS= Sólidos totais dissolvidos.

Local	Temp. (C°)	pH	ORP (mV)	Cond. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	TDS (g/L)
LARJ	22.06	5.47	371	0.082	12.1	11.41	0.054
MUQL	28.51	6.63	263	0.103	67.8	8.60	0.067
OUVE	25.06	7.09	244	0.095	10.9	9.89	0.051

Morfometria geométrica

Foram utilizados para o presente trabalho 24 exemplares do rio Laranjeiras, 19 do rio Muquilão e 23 do córrego Ouro Verde. Os dois primeiros eixos da PCA (Figura 2) explicaram 55,8% da variabilidade intraespecífica da forma do corpo, apresentando algumas diferenças sutis no formato a depender do ponto de amostragem. PC1 segregou positivamente indivíduos

do rio Laranjeiras apresentando maior curvatura dorsal do corpo, focinho posicionado mais inferiormente e olhos maiores. Por outro lado, PC1 segregou negativamente os exemplares amostrados no rio Muquidão e no córrego Ouro Verde, que apresentaram o dorso mais retilíneo, focinho posicionado mais superiormente e olhos menores. O eixo PC2 apresentou variações sutis demonstrando pequenas tendências de segregamento dos indivíduos em relação ao tamanho do olho e da cabeça. Indivíduos pertencentes ao rio Muquidão se posicionaram positivamente apresentando olhos maiores e maior tamanho da cabeça enquanto indivíduos do córrego Ouro Verde e o rio Laranjeiras, que se posicionaram negativamente e apresentaram olhos e tamanho da cabeça menores. Apesar de identificarmos algumas tendências, as variações morfológicas visualizadas nos gráficos não apresentaram diferença significativas (PERMANOVA, $F=0,5057$; $p=0,599$).

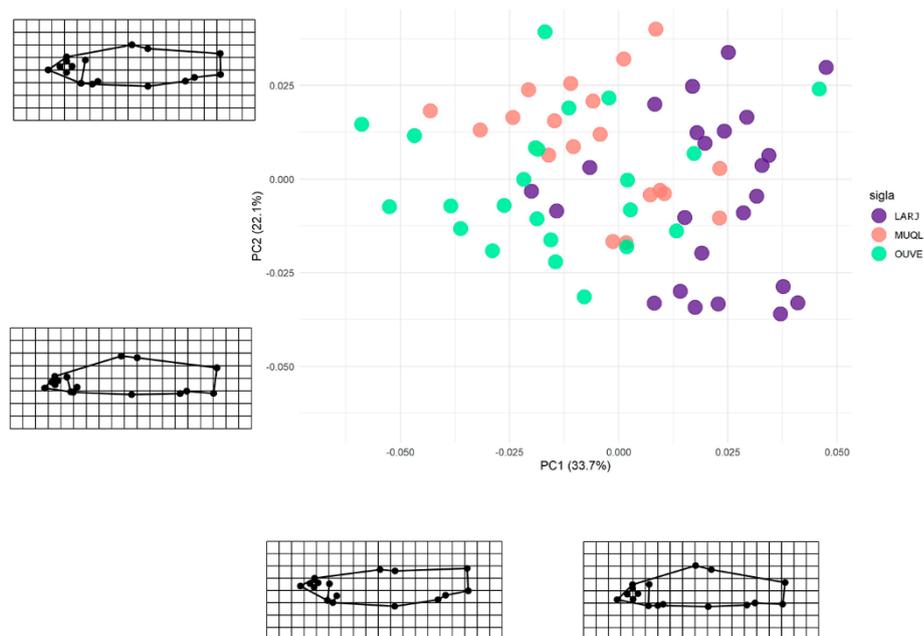


Figura 2: Resultado da análise de componentes principais (PCA) entre PC1 x PC2, mostrando as diferenças morfológicas intraespecíficas de *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquidão; OUVE= Córrego Ouro Verde. O gráfico apresenta as placas de deformação demonstrando a variação entre a forma dos indivíduos.

Morfologia trófica

Todos os indivíduos amostrados apresentaram o mesmo número de rastros branquiais no segundo arco branquial (NR= 26). O maior comprimento de rastro branquial (xxx mm) (CR) foi registrado nos indivíduos coletados no córrego Ouro Verde, seguido pelos indivíduos dos rios Laranjeiras e Muquidão (Tabela 3). O espaçamento entre os rastros branquiais (ER) seguiu o mesmo padrão, sendo o maior espaçamento encontrado nos rastros dos peixes do córrego

Ouro Verde e menor espaçamento, no rio Muquilão (Tabela 3). Em relação ao coeficiente intestinal (CI), os valores foram muito próximos uns dos outros, sendo o maior CI identificado no rio Laranjeiras, seguido pelo córrego Ouro Verde e por fim, rio Muquilão (Tabela 3).

Tabela 3: Características morfológicas tróficas intraespecíficas de *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquilão; OUV= Córrego Ouro Verde; DP= Desvio padrão.

Local	LARJ	MUQL	OUVE
Rastros branquiais (média \pm DP)			
Número total de rastros (NR)	26 \pm 0.624	26 \pm 1.264	26 \pm 1.140
Comprimento dos rastros (CR) (mm)	0.041 \pm 0.011	0.036 \pm 0.012	0.042 \pm 0.012
Espaçamento entre rastros (ER) (mm)	0.010 \pm 0.002	0.009 \pm 0.002	0.012 \pm 0.003
Coefficiente Intestinal (CI) (média \pm DP)	9.377 \pm 0.800	8.877 \pm 1.501	9.263 \pm 0.732

Dieta

Foi observada predominância de itens de origem autóctone, compondo mais de 80% da dieta da espécie em todos os locais amostrados (Tabela 4). Dentro dos itens autóctones, o grande destaque foi para algas, que compôs majoritariamente a dieta da espécie. Briófitas também teve importante participação, principalmente para os indivíduos do rio Laranjeiras e córrego Ouro Verde. Foi registrado consumo de insetos aquáticos em todas as localidades e vegetal terrestre no córrego Ouro Verde. A composição da dieta diferiu significativamente entre os locais amostrados tanto na matriz de volume dos itens alimentares (PERMANOVA, $F=4,1225$; $p=0,002$) como na matriz de densidade de algas (PERMANOVA, $F=16,067$; $p=0,001$).

Considerando a análise mais detalhada a partir de metodologia para quantificar a densidade de algas, foi observada uma grande diversidade de gêneros consumidos (Tabela 4). A classe predominante de algas foi Cyanophyceae nos rios Laranjeiras e Muquilão, seguidos por Bacillariophyceae e Mediophyceae, respectivamente (Tabela 4, Figura 3). No córrego Ouro Verde, houve predominância de Mediophyceae, com contribuição de Bacillariophyceae e Cyanophyceae (Tabela 4, Figura 3). Quanto à forma de vida das algas, foi observada predomínio de formas unicelulares no rio Laranjeiras e no córrego Ouro Verde, enquanto no rio Muquilão foram algas filamentosas. O habitat predominante foi de algas perifíticas para todos os locais amostrados (Tabela 4).

Tabela 4: Itens alimentares em volume percentual e densidade de algas consumidas por *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquilão; OUV= Córrego Ouro Verde; FV= Forma de vida; HB= Habitat; UC= Unicelular; FL= Filamentoso; CO= Colonial; CA= Cadeia; PER= Perifítico; MEF= Metafítico; PLA= Planctônico.

Local	LARJ	MUQL	OUVE		
Número de estômagos	24	19	23		
Itens alimentares (mL)					
Itens alimentares autóctones					
Algas	81.78	88.08	83.99		
Briófita	13.42	8.72	13.40		
Diptera (Pupa)	0.08		0.05		
Chironomidae (Larva)	3.35	0.58	0.21		
Simuliidae (Larva)		1.45	0.99		
Ephemeroptera (Larva)	1.36	0.44			
Trichoptera (Larva)		0.15	0.42		
Somatória	100	99.4	99.1		
Itens alimentares alóctones					
Vegetal terrestre			0.52		
Somatória	-	-	0.5		
Detrito	-	0.6	0.4		
Densidade de algas (ind.mL⁻¹)					
				FV	HB
Classe/Gênero					
Zygnematophyceae					
Cosmarium	392	196	49	UC	MEF
Closterium	1324	0	202	UC	MEF
Spirogyra	0	98	0	FL	PLA
Chlorophyceae					
Oedogonium	16837	441	1423	FL	PER
Selenastrum	196	0	0	CO	MEF
Stauridium	49	0	0	CO	MEF
Bacillariophyceae					
Achnantheidium	490	0	98	FL	PER
Adlafia	1522	0	791	UC	PER
Amphipleura	5106	49	496	UC	PER
Cocconeis	5694	1323	1778	UC	PER
Cymbella	20424	2847	3095	UC	PER
Encyonema	4270	442	2355	UC	PER
Eunotia	196	147	49	UC	PER
Fragilaria	1718	981	8009	UC	PER
Gomphonema	8049	3142	7704	UC	PER
Gyrosigma	1373	0	49	UC	PER
Hantzschia	0	0	0	UC	PER
Iconella	147	0	49	UC	PER
Luticula	1816	0	0	UC	PER
Naviculadicta	5843	785	2922	UC	PER
Nitzschia	441	147	2993	UC	PER

Penales	442	539	801	UC	PER
Pinnularia	3780	49	588	UC	PER
Placoneis	393	0	147	UC	PER
Selaphora	0	98	0	UC	PER
Staurosirella	0	0	55	UC	PER
Ulnaria	10846	147	1770	UC	MEF
Euglena/Phacus	49	0	0	UC	PLA
Coscinodiscophyceae					
Aulacoseira	0	0	49	CA	MEF
Hydrosera	3100	785	806	CA	MEF
Melosira	4612	981	735	CA	MEF
Mediophyceae					
Pleurosira	931	29060	198874	CA	PER
Discostella/Cyclotella	196	0	147	UC	PER
Cyanophyceae					
Arthrospira	0	49	49	FL	PER
Calothrix	6530	1030	392	FL	PER
Capsosira	0	932	49	FL	PER
Cyanobacteria	4566	6084	15019	FL/CO	PER
Dolichospermum	13794	540	588	FL	PLA
Komvophoron	442	245	213	FL	MEF
Leptolyngbya	0	0	0	FL	MEF
Merismopedia	16199	0	0	CO	PLA
Microcystis	0	98	0	CO	PLA
Oscillatoria	645554	22775	9982	FL	PER
Phormidium	3631	2698	545	FL	PER
Planktothrix	0	0	0	FL	PLA
Porphyrosiphon	0	2994	0	FL	PER
Pseudoanabaena	36915	17819	3132	FL	MEF
Romeria	0	98	0	FL	PLA
Compsopogonophyceae					
Compsopogon	245	0	0	FL	PER
Florideophyceae					
Audouinella	0	295	0	FL	PER
Batrachospermaceae	4369	5546	0	FL	PER
Euglenophyceae					
Trachelomonas	0	295	196	UC	PLA

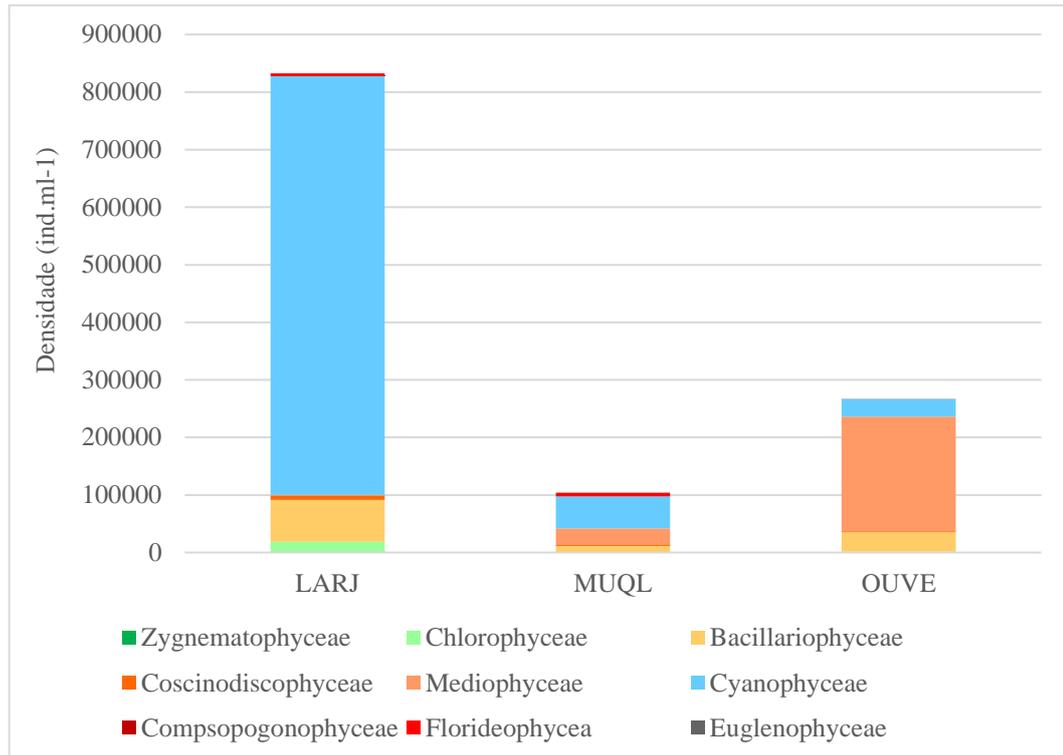


Figura 3: Densidade das classes de algas consumidas por *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. LARJ= Rio Laranjeiras; MUQL= Rio Muquidão; OUVE= Córrego Ouro Verde.

Correlações de traços: morfologia trófica e dieta

Correlações fortes e positivas foram encontradas entre os traços morfológicos relativos aos rastros branquiais e o item alimentar alga no rio Laranjeiras e no córrego Ouro Verde (Figura 4). O item alimentar briófitas se correlacionou positivamente com o coeficiente intestinal no rio Muquidão e no córrego Ouro Verde (Figura 4). Chironomidae e Ephemeroptera foram correlacionados negativamente com os traços morfológicos nos rios Laranjeiras e Muquidão (Figura 4).

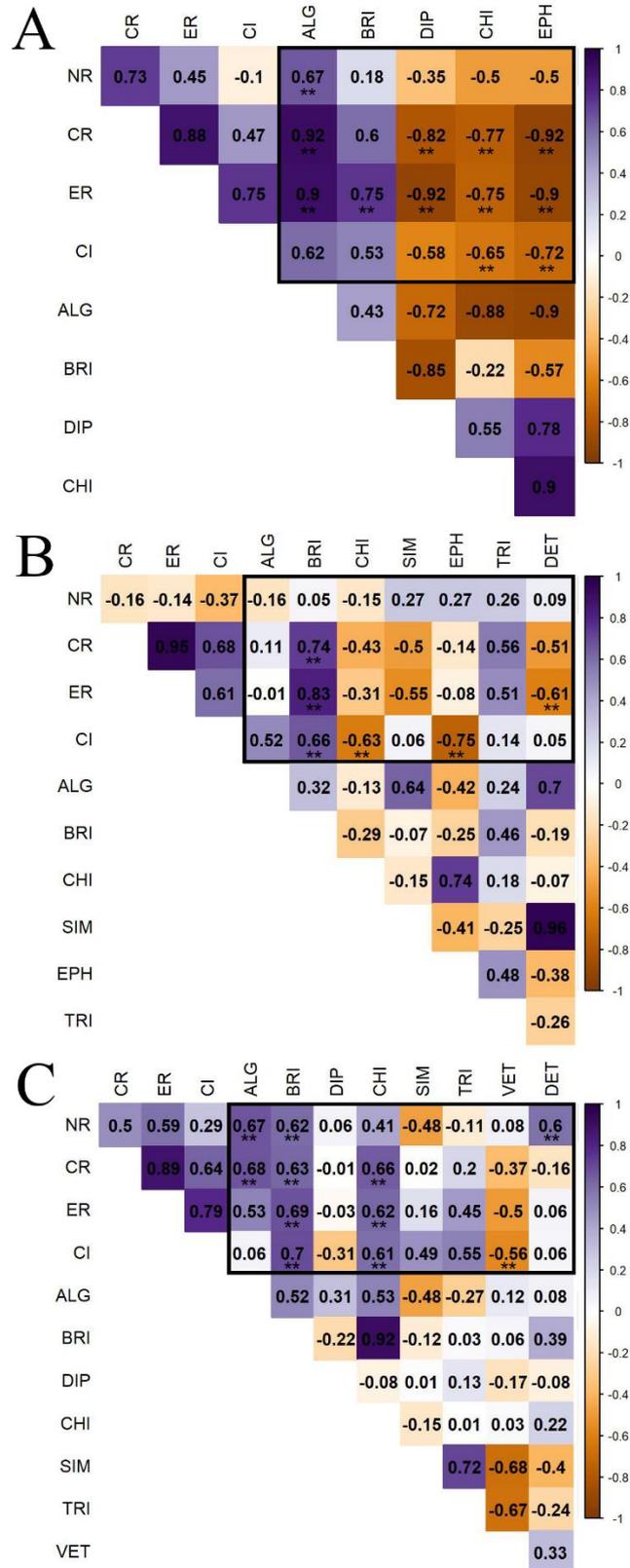


Figura 4: Correlações de Spearman entre os caracteres morfológicos tróficos (NR= Número de rastros; CR= Comprimento dos rastros; ER= Espaçamento entre rastros; CI= Coeficiente intestinal) e os itens alimentares (ALG= Alga; BRI= Briófitas; DIP= Diptera pupa; CHI= Chironomidae; SIM= Simuliidae; EPH= Ephemeroptera; TRI= Trichoptera; VET= Vegetal terrestre; DET= Detrito) consumidas por *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. (A) Rio Laranjeiras, (B) Rio Muquilão, (C) Córrego Ouro Verde. Os

valores nos quadrados representam as correlações, os asteriscos indicam correlações significativas, os quadrados sem asteriscos indicam correlações não significativas.

Variação individual na dieta

De forma geral, foi encontrado baixo valor de similaridade proporcional ($PSi=0,39$), alto valor de variação interindividual ($E=0,68$) e baixo grau de agrupamento ($C_{ws}=0,03$) para a espécie. Ao analisar os pontos de amostragem separadamente, o menor valor de PSi (0,39) e maior valor de E (0,7) e de C_{ws} (0,03) foi identificado no rio Muquilão. Os indivíduos dos rios Laranjeiras e o córrego Ouro Verde se comportaram de forma similar, com valores intermediários de PSi (0,51 e 0,46, respectivamente) e de E (0,57 e 0,62, respectivamente) e valores baixos de C_{ws} (0,03 e 0,06, respectivamente). Foram verificadas diferenças significativas somente para o PSi (Kruskal-Wallis, $X^2= 10,223$; $p<0,001$) e E (Kruskal-Wallis, $X^2= 24,505$; $p<0,001$) entre os pontos de amostragem. Baixos valores do índice de sobreposição e preenchimento decrescente (NODF $\sim 20/30$) foram encontrados, e com diferenças significativas em todos os pontos de amostragem ($p<0,01$; Figura 5).

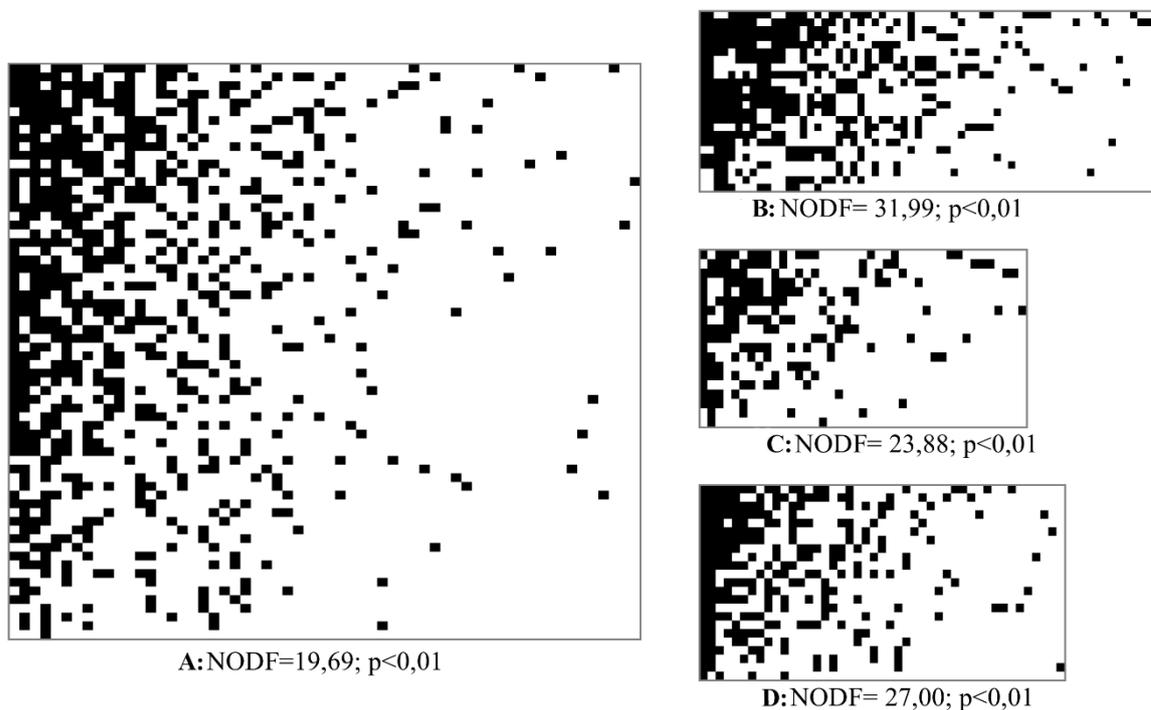


Figura 5: Matrizes de incidência descrevendo os itens alimentares (colunas) utilizados por indivíduos (linhas) de *Apareiodon vladii* nos pontos de amostragem em Iretama, Paraná, Brasil. Quadrados pretos indicam que um determinado indivíduo consumiu um determinado item alimentar. (A) Todos os pontos amostrados, (B) Rio Laranjeiras, (C) Rio Muquilão, (D) Córrego Ouro Verde.

Discussão

Neste estudo foi possível observar variações morfológicas corporais intraespecíficas à nível espacial, embora não existam diferenças significativas (o que era esperado uma vez que avaliamos diferenças morfológicas dentro de uma mesma espécie). De forma geral, peixes do gênero *Apareiodon* apresentam forma deprimida do corpo, nadadeiras peitoral e pélvica mais largas, pedúnculo caudal desenvolvido, mandíbula especializada para raspar superfícies, dentes espatulados, boca subterminal e olhos grandes (SAZIMA, 1980; CASATTI & CASTRO, 2006). Quando descrita, *Apareiodon vladii* teve como características o perfil dorsal do corpo ligeiramente convexo ou reto (PAVANELLI, 2006) o que foi corroborado pelos dados da presente pesquisa. Estas características corporais são relacionadas a habitats bentônicos de fluxo rápido (SANTIN et al., 2004; CASATTI & CASTRO, 2006) permitindo que *A. vladii* no rio Ivaí e Piquiri ocorra nos ambientes rochosos com fluxo rápido. O corpo mais convexo observado nos indivíduos do rio Laranjeiras possivelmente está relacionado ao fato desses peixes terem sido coletados em ambientes de cachoeiras, enquanto os demais exemplares coletados no rio Muquilão e no córrego Ouro Verde, foram coletados em ambientes de rápidos, mas menos intensos quanto as cachoeiras. As diferenças observadas no formato corporal entre os indivíduos de diferentes ambientes podem ser atreladas à plasticidade fenotípica, onde a variabilidade ambiental impacta diretamente na variabilidade individual da forma do corpo (IMRE et al., 2002; POTTS et al., 2021).

A morfologia desse gênero, tanto corporal como trófica, desempenha papel importante em seus hábitos alimentares (PAVANELLI, 2006). Conforme esperado, a dieta da espécie apresentou diferenças significativas quando levado em consideração o fator espacial. *Apareiodon vladii* consumiu majoritariamente itens autóctones com a maior contribuição de algas, seguido por briófitas. Insetos aquáticos foram consumidos, adicionalmente, em todas as localidades e o único de registro de consumo de vegetal no córrego Ouro Verde parece ser algo ocasional. O hábito alimentar predominantemente algívoro é registrado para outras espécies do mesmo gênero e é atribuído à morfologia dos seus dentes que são utilizados para raspagem (CASATTI & CASTRO, 2006; PAVANELLI, 2006). O consumo de sedimento é relatado em espécies do mesmo gênero e é atribuído à associação deste item à alga e vegetal aquático (SAZIMA, 1980; SANTIN et al., 2004; NOVAKOWSKI et al., 2008). O consumo de vegetal terrestre é relacionado a um comportamento oportunista da espécie, uma vez que não este item, usualmente, não faz parte de sua dieta (DA SILVEIRA et al., 2023).

Ao nos aprofundarmos na identificação dos gêneros de algas, encontramos uma grande diversidade, o que tornou a dieta dos indivíduos diversa. O rio Laranjeiras apresentou dominância dos gêneros pertencentes à classe Cyanophyceae com contribuição significativa de diatomáceas, principalmente representadas pela classe Bacillariophyceae. No rio Muquilão, a dieta dos peixes foi composta predominante por Cyanophyceae e pelas diatomáceas, pertencentes à classe Mediophyceae. O córrego Ouro Verde, por sua vez, apresentou maiores densidades de diatomáceas (Mediophyceae e Bacillariophyceae) e menor proporção de Cyanophyceae. Algas Cyanophyceae são frequentemente associadas ao maior aporte de nitrogênio indicando alta carga poluidora e condição rica em nutrientes (TAS & GONULOL, 2007; DONALD et al., 2013). O fato de ter sido encontrada de forma exacerbante no rio Laranjeiras, é explicada pela intensa agricultura e pecuária ao redor do ponto de amostragem, que fornece as condições ideais para proliferação dessas algas. A flora de diatomáceas tem sido considerada um bom bioindicador da qualidade de água e pode ser resultante do alto enriquecimento de nutrientes advindos do cultivo ripário (PANDEY et al., 2018; INYANG & WANG, 2020). As diatomáceas além de serem consideradas boas indicadoras, também possuem uma alta diversidade de espécies e estão presentes em todos os ecossistemas aquáticos (VAN DAM et al., 1994).

A correlação positiva e forte entre as algas e os traços morfológicos (número, comprimento e espaçamento de rastros) verificados no rio Laranjeiras e no córrego Ouro Verde, se deve a forma de vida unicelular encontradas em maior proporção na dieta desses indivíduos. Já no rio Muquilão, devido a menor riqueza de espécies de formato unicelular, o consumo de formas filamentosas pode ser atribuído ao oportunismo da espécie de consumir os itens mais disponíveis no ambiente. As algas foram identificadas apresentando a característica funcional de habitat predominantemente perifítico. Correlações positivas e fortes foram encontradas em todos os ambientes entre briófitas e o coeficiente intestinal. Corroborando com os nossos resultados, a correlação entre algas e rastros branquiais longos e mais justapostos é retratado na literatura e oferecem funções primordiais na filtragem das algas (VILLÉGER et al., 2010; KLIEMANN et al., 2021). A correlação entre briófitas e o coeficiente intestinal é explicado pela resposta adaptativa para melhor assimilação desses recursos que não são tão ricos em nutrientes (GERKING, 2014). Ademais, *A. vladii* possui estômago químico e mecânico, o que auxilia na digestão e trituração desses itens alimentares.

Os valores encontrados para os índices de variações e especializações individuais indicam que, de forma geral, a espécie possui especialização individual, com uma elevada

variação interindividual no consumo de recursos. Isso decorre provavelmente da elevada diversidade de recursos alimentares encontrados na dieta dos peixes e pode atuar como um mecanismo de coexistência (DA SILVA et al., 2017; NEVES et al., 2018). Apesar de ter sido identificada a variação e especialização individual na espécie, não foi observado grupos com indivíduos compartilhando um mesmo subconjunto de recursos ou dietas superdispersas (ARAÚJO et al., 2008). Com o índice C_{ws} próximo a 0, verificamos uma rede alimentar aleatória, embora exista um certo compartilhamento de recursos.

Ao analisarmos a variação intraespecífica na alimentação espacialmente, dos pontos de amostragem, a maior especialização individual, variação interindividual dos recursos e maior compartilhamento de subconjuntos de recursos foi identificado no rio Muquilão. Por ser o local que apresentou menor riqueza dos táxons de algas, a maior especialização individual pode ser atrelada ao mecanismo de coexistência intraespecífica, uma vez que os efeitos da competição e sobreposição alimentar diminuiriam (DA SILVA et al., 2017; NEVES et al., 2018). Esse fato corrobora com a hipótese de que, quando a competição por alimentos é alta, existe uma tendência de maior variação na dieta entre os indivíduos (SVANBÄCK & PERSSON, 2004; SVANBÄCK et al., 2011). O rio Laranjeiras e o córrego Ouro Verde apresentaram valores intermediários de especialização e variação interindividual e uma dieta sem agrupamentos ou superdispersa. Devido à maior riqueza de itens alimentares desses ambientes, a menor especialização e variação é explicada pela abundância dos itens (DA CUNHA et al., 2018). Os baixos valores de NODF encontrados, tanto para a espécie como um todo, como para os locais amostrados individualmente, indicam que a dieta foi composta tanto por indivíduos generalistas como por especialistas e a dieta dos especialistas foi um subconjunto ordenado dos generalistas (DA CUNHA et al., 2018).

Tendo como base sua descrição original (PAVANELLI, 2006) e a ausência de informações a respeito de sua biologia e ecologia, esse estudo fornece informações inéditas que além de descrever especificamente alguns hábitos da espécie ainda aborda relações com mecanismos ecológicos que são ferramentas importantes para compreender e traçar planos de conservação. Devido à especialização do aparato trófico, existiam suposições de que a espécie era considerada especialista (PAVANELLI, 2006). Com nosso estudo conseguimos comprovar que, apesar de apresentar hábito alimentar algívoro conforme descrito pela literatura, indivíduos dessa espécie consomem outros recursos que contribuem para a sua dieta. Conforme hipotetizado, observamos variações espaciais nas características morfológicas corporais e tróficas e no uso de recursos, sendo que as variações na dieta tiveram correlações indicativas

da influência da morfologia na aquisição dos recursos. Ainda, ocorreram variações intraespecíficas e especialização na dieta e influência espacial nas preferências alimentares. Em resumo, nossos resultados contribuem com novas informações sobre a morfologia e ecologia de *A. vladii*, espécie vulnerável que se apresentou dependente de ambientes de fluxos rápidos e que se alimenta predominantemente de algas na superfície de rochas. Esses dados são importantes para o entendimento da distribuição da espécie, bem como das medidas para a sua conservação, uma vez que com a implantação de empreendimentos hidrelétricos e alterações no ambiente, sua fonte principal de alimentação e seu habitat são impactados, tornando-a mais vulnerável. Por fim, encorajamos outros estudos a abordarem a relação de *A. vladii* com outras espécies para compreender a dinâmica do ecossistema, quais são os seus predadores e quais os outros fatores que podem influenciar na sua presença ou não em ambientes. Além disso, é importante uma atenção especial para a conservação da espécie que se encontra sob ameaça de extinção, uma vez que nossos dados servem como suporte para que se preserve as características lóticicas dos rios.

Referências

- ABELHA, M. C. F.; AGOSTINHO, A. A.; GOULART, E. Plasticidade trófica em peixes de água doce. **Acta Scientiarum**, v. 23, n.2, p. 425-434, 2001.
- ALBERT, J. S.; TAGLIACOLLO, V. A.; DAGOSTA, F. Diversification of Neotropical freshwater fishes. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 51, p. 27-53, 2020.
- ALMEIDA-NETO, M. et al. A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. **Oikos**, v. 117, n. 8, p. 1227-1239, 2008.
- ARAÚJO, M. S. et al. Nested diets: a novel pattern of individual-level resource use. **Oikos**, v. 119, n. 1, p. 81-88, 2010.
- ARAÚJO, M. S. et al. Network analysis reveals contrasting effects of intraspecific competition on individual vs. population diets. **Ecology**, v. 89, n. 7, p. 1981-1993, 2008.
- ARAÚJO, M. S.; BOLNICK, D. I.; LAYMAN, C. A. The ecological causes of individual specialisation. **Ecology Letters**, v. 14, n. 9, p. 948-958, 2011.
- AVMA (AMERICAN VETERINARY MEDICAL ASSOCIATION) et al. Report of the AVMA Panel on Euthanasia. **JAVMA**, v. 218, p. 669-696, 2000.
- BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais: chave para identificação e descrições**. Livraria RiMa Editora, 2017.
- BICUDO, C. E. M.; BICUDO, R. M. T. **Algas de águas continentais brasileiras**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências, 1970.

- BOLNICK, D. I. et al. Measuring individual-level resource specialization. **Ecology**, v. 83, n. 10, p. 2936-2941, 2002.
- BOLNICK, D. I. et al. The ecology of individuals: incidence and implications of individual specialization. **The American Naturalist**, v. 161, n. 1, p. 1-28, 2003.
- BOLNICK, D. I. et al. Why intraspecific trait variation matters in community ecology. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 26, n. 4, p. 183-192, 2011.
- CALLISTO, M. et al. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividade de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, 2002.
- CASATTI, L.; CASTRO, R. Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 4, p. 203-214, 2006.
- CASTRO, R.; POLAZ, C. N. M. Small-sized fish: the largest and most threatened portion of the megadiverse neotropical freshwater fish fauna. **Biota Neotropica**, v. 20, 2019.
- COLLEN, B. et al. Global patterns of freshwater species diversity, threat and endemism. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 1, p. 40-51, 2014.
- COLLIER, C. A. et al. Effects of anthropic actions and forest areas on a neotropical aquatic ecosystem. **Science of the Total Environment**, v. 691, p. 367-377, 2019.
- CORREA, S. B.; WINEMILLER, K. O. Niche partitioning among frugivorous fishes in response to fluctuating resources in the Amazonian floodplain forest. **Ecology**, v. 95, n. 1, p. 210-224, 2014.
- COSTA, A. et al. Generalisation within specialization: inter-individual diet variation in the only specialized salamander in the world. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2015.
- DA CUNHA, A. F.; WOLFF, L. L.; HAHN, N. S. Seasonal changes at population and individual levels in the diet of juvenile catfish in a Neotropical floodplain. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 33, n. 1, p. 273-284, 2018.
- DA SILVA, J. C. et al. Coexisting small fish species in lotic neotropical environments: evidence of trophic niche differentiation. **Aquatic Ecology**, v. 51, p. 275-288, 2017.
- DA SILVEIRA, E. L. et al. Integrative Analysis to Manage Aquatic Resources Based on Fish Feeding Patterns in Neotropical Rivers. **Fishes**, v. 8, n. 3, p. 157, 2023.
- DONALD, D. B. et al. Phytoplankton-specific response to enrichment of phosphorus-rich surface waters with ammonium, nitrate, and urea. **PloS one**, v. 8, n. 1, p. e53277, 2013.
- EATON, A. D. et al. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). **Washington, DC**, 2005.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do Estado do Paraná**. Brasília, DF. EMBRAPA, 2020. Disponível

em:<http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Aparana_solos_20201105>. Acesso em: 20 mar. 2022.

FERREIRA, A. et al. Riparian coverage affects diets of characids in neotropical streams. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 21, n. 1, p. 12-22, 2012.

GERKING, S. D. **Feeding ecology of fish**. Elsevier, 2014.

GRAÇA, W. J.; PAVANELLI, C. S. **Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes**. Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2007.

HELLAWELL, J. M.; ABEL, R. A rapid volumetric method for the analysis of the food of fishes. **Journal of fish Biology**, v. 3, n. 1, p. 29-37, 1971.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina (PR): IAPAR, 2019. 210 p.: map. tab. Color. Disponível em:<<http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa da vegetação do Brasil, 2004**. Disponível em:<https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama geral, 2010**. Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/iretama/panorama>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

IMRE, I.; MCLAUGHLIN, R. L.; NOAKES, D. L. G. Phenotypic plasticity in brook charr: changes in caudal fin induced by water flow. **Journal of Fish Biology**, v. 61, n. 5, p. 1171-1181, 2002.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. VI–Peixes, 2018.

INYANG, A. I.; WANG, Y. Phytoplankton diversity and community responses to physicochemical variables in mangrove zones of Guangzhou Province, China. **Ecotoxicology**, v. 29, p. 650-668, 2020.

IRETAMA. Lei Municipal n° 16, de 27 de abril de 2017. **Autoriza o poder executivo municipal a declarar de utilidade pública a área que menciona, para fins de desapropriação, e dá outras providências**. Iretama, PR, 27 de abril de 2017. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/pr/i/iretama/lei-ordinaria/2017/2/16/lei-ordinaria-n-16-2017-autoriza-o-poder-executivo-municipal-a-declarar-de-utilidade-publica-a-area-que-menciona-para-fins-de-desapropriacao-e-da-outras-providencias?q=Esta%C3%A7%C3%A3o+Ecol%C3%B3gica>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

IRETAMA. Lei Municipal n° 31, de 26 de junho de 2019. **Autoriza o poder executivo municipal a declarar de utilidade pública e criar a unidade de conservação municipal de proteção integral da área que menciona, para fins de desapropriação, e dá outras providências**. Iretama, PR, de 26 de junho de 2019. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/pr/i/iretama/lei-ordinaria/2019/4/31/lei-ordinaria-n-31-2019-autoriza-o-poder-executivo-municipal-a-declarar-de-utilidade-publica-e-criar-a>>

- unidade-de-conservacao-municipal-de-protecao-integral-da-area-que-menciona-para-fins-de-desapropriacao-e-da-outras-providencias?q=Esta%E7%E3o%20Ecol%F3gica>. Acesso em: 05 abr. 2022.
- KLIEMANN, B. C. K. et al. Morphological divergences as drivers of diet segregation between two sympatric species of *Serrapinnus* (Characidae: Cheirodontinae) in macrophyte stands in a neotropical floodplain lake. **Neotropical Ichthyology**, v. 19, 2021.
- LEAL, C. G.; JUNQUEIRA, N. T.; POMPEU, P. S. Morphology and habitat use by fishes of the Rio das Velhas basin in southeastern Brazil. **Environmental biology of fishes**, v. 90, p. 143-157, 2011.
- MAZZONI, R. et al. Alimentação e padrões ecomorfológicos das espécies de peixes de riacho do alto rio Tocantins, Goiás, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 100, n. 2, p. 162-168, 2010.
- MISE, F. T. et al. The coexistence of endemic species of *Astyanax* (Teleostei: Characidae) is propitiated by ecomorphological and trophic variations. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 3, p. 21-28, 2013.
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro**. Technical Books Editora, 2010.
- NELSON, J. S.; GRANDE, T. C.; WILSON, M. V. H. **Fishes of the World**. John Wiley & Sons, 2016.
- NEVES, M. P. et al. Is resource partitioning the key? The role of intra-interspecific variation in coexistence among five small endemic fish species (Characidae) in subtropical rivers. **Journal of Fish Biology**, v. 93, n. 2, p. 238-249, 2018.
- NOVAKOWSKI, G. C.; HAHN, N. S.; FUGI, R. Diet seasonality and food overlap of the fish assemblage in a pantanal pond. **Neotropical Ichthyology**, v. 6, p. 567-576, 2008.
- OTA, R. R. et al. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: revised, annotated and updated. **Neotropical Ichthyology**, v. 16, n. 2, 2018.
- PANDEY, L. K. et al. Evaluating features of periphytic diatom communities as biomonitoring tools in fresh, brackish and marine waters. **Aquatic Toxicology**, v. 194, p. 67-77, 2018.
- PAVANELLI, C. S. New species of *Apareiodon* (Teleostei: Characiformes: Parodontidae) from the rio Piquiri, upper rio Paraná basin, Brazil. **Copeia**, v. 2006, n. 1, p. 89-95, 2006.
- POTTS, L. B.; MANDRAK, N. E.; CHAPMAN, L. J. Coping with climate change: phenotypic plasticity in an imperilled freshwater fish in response to elevated water temperature. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 31, n. 10, p. 2726-2736, 2021.
- POUGH, F. H.; HEISER, J. B.; MCFARLAND, W. N. **A vida dos vertebrados**. Atheneu, 2003.
- REID, A. J. et al. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. **Biological Reviews**, v. 94, n. 3, p. 849-873, 2019.

REIS, R. E. et al. Fish biodiversity and conservation in South America. **Journal of fish biology**, v. 89, n. 1, p. 12-47, 2016.

RICKLEFS, R. E.; MILES, D. B. Ecological and evolutionary inferences from morphology: an ecological perspective. **Ecological morphology: integrative organismal biology**, v. 1, p. 13-41, 1994.

ROHLF, F. J.; MARCUS, L. F. A revolution morphometrics. **Trends in ecology & evolution**, v. 8, n. 4, p. 129-132, 1993.

ROHLF, F. JAMES. The tps series of software. **Hystrix**, v. 26, n. 1, p. 9-12, 2015.

ROUND, F. E.; CRAWFORD, R. M.; MANN, D. G. **Diatoms: biology and morphology of the genera**. Cambridge university press, 1990.

SAMPAIO, A. L. A.; GOULART, E. Ciclídeos neotropicais: ecomorfologia trófica. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 4, p. 775-798, 2011.

SANTIN, M.; BIALETZKI, A.; NAKATANI, K. Mudanças ontogênicas no trato digestório e dieta de *Apareiodon affinis* (Steindachner, 1879)(Osteichthyes, Parodontidae). **Acta Scientiarum, Biological Sciences**, v. 26, n. 3, p. 291-298, 2004.

SAZIMA, I. Behavior of two Brazilian species of parodontid fishes, *Apareiodon piracicabae* and *A. ibitiensis*. **Copeia**, v. 1980, n. 1, p. 166-169, 1980.

SVANBÄCK, R. et al. Diet specialization in a fluctuating population of *Saduria entomon*: a consequence of resource or forager densities?. **Oikos**, v. 120, n. 6, p. 848-854, 2011.

SVANBÄCK, R.; PERSSON, L. Individual diet specialization, niche width and population dynamics: implications for trophic polymorphisms. **Journal of Animal Ecology**, p. 973-982, 2004.

TAGLIACOLLO, V. A. et al. Assessing extinction risk from geographic distribution data in Neotropical freshwater fishes. **Neotropical Ichthyology**, v. 19, 2021.

TAS, B.; GONULOL, A. An ecologic and taxonomic study on phytoplankton of a shallow lake, Turkey. **Journal of Environmental Biology**, v. 28, n. 2, p. 439, 2007.

TEIXEIRA, I.; BENNEMANN, S. T. Ecomorfologia refletindo a dieta dos peixes em um reservatório no sul do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 7, n. 2, p. 67-76, 2007.

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. **Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Mitteilungen**, v. 9, n. 1, p. 1-38, 1958.

VAN DAM, H.; MERTENS, A.; SINKELDAM, J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. **Netherland Journal of Aquatic Ecology**, v. 28, p. 117-133, 1994.

VARI, R. P.; MALABARBA, L. R. Neotropical ichthyology: an overview. **Phylogeny and classification of Neotropical fishes**, v. 1, p. 1-12, 1998.

VILLÉGER, S. et al. Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. **Ecological applications**, v. 20, n. 6, p. 1512-1522, 2010.

WILLIS, S. C.; WINEMILLER, K. O.; LOPEZ-FERNANDEZ, H. Habitat structural complexity and morphological diversity of fish assemblages in a Neotropical floodplain river. **Oecologia**, v. 142, p. 284-295, 2005.

Material suplementar

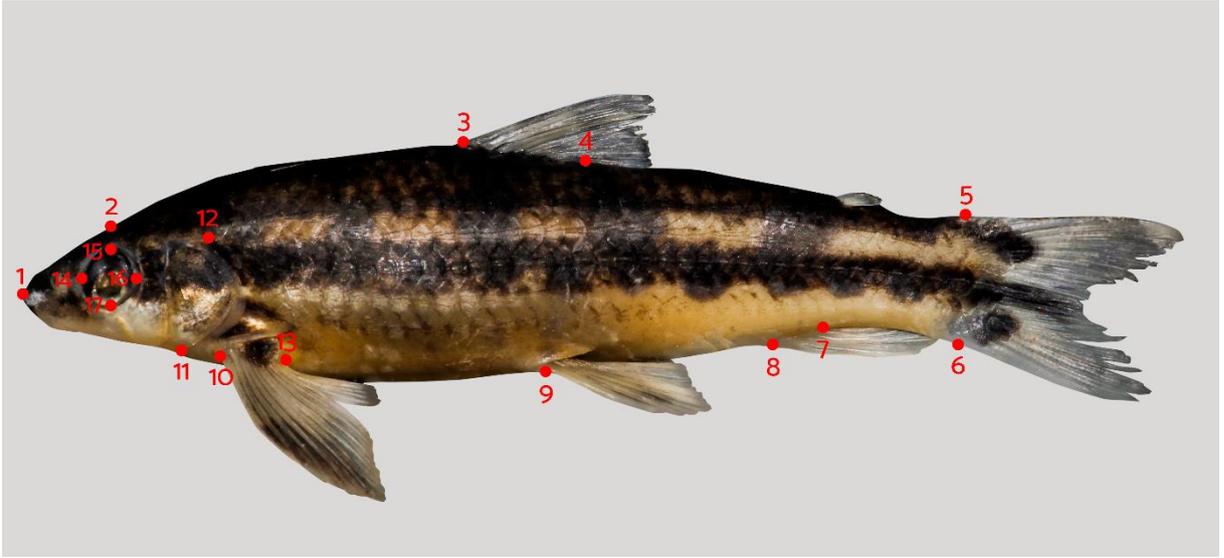


Figura S1: Marcos homólogos usados para descrever a forma do corpo de *Apareiodon vladii*, Iretama, Paraná, Brasil.

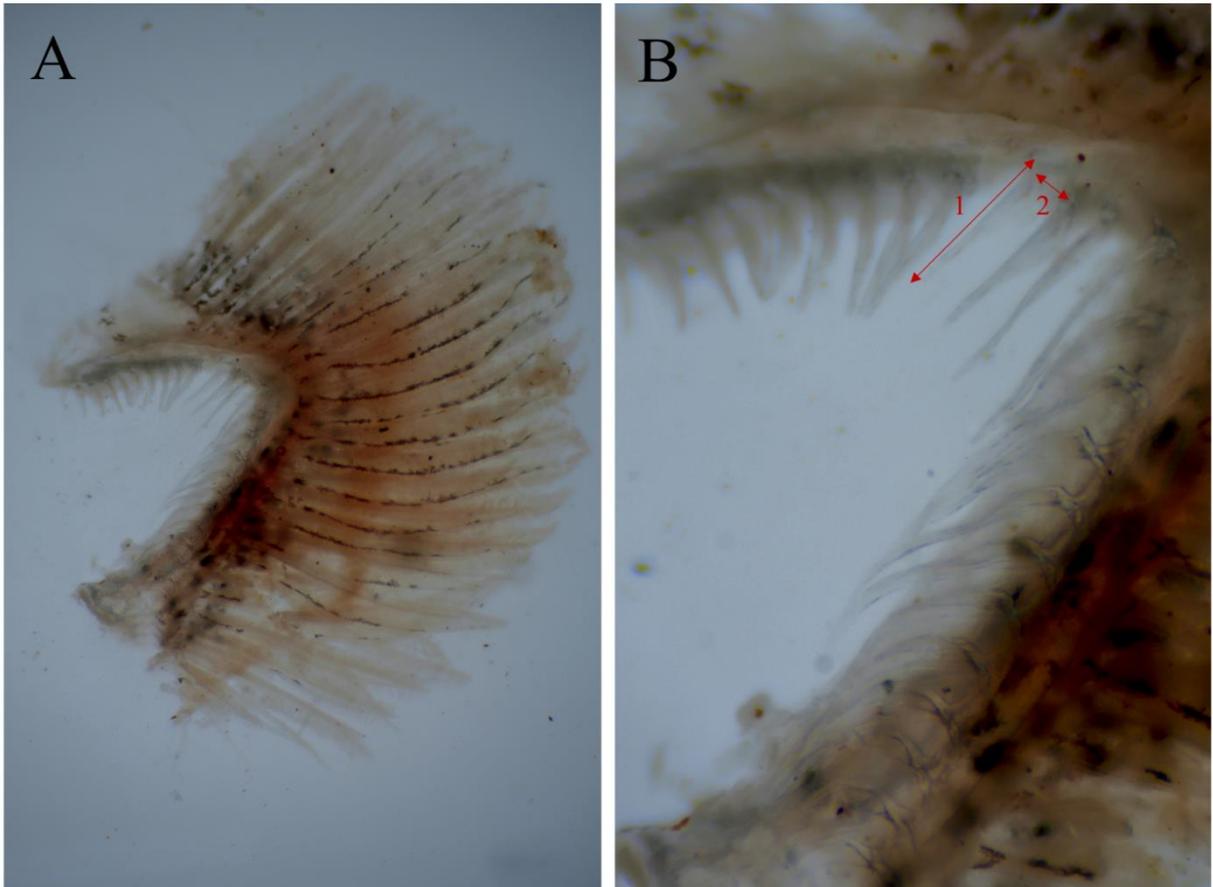


Figura S 2: Rastros branquiais de *Apareiodon vladii*, Iretama, Paraná, Brasil. (A) Vista da brânquia. (B) Vista aproximada dos rastros, 1= comprimento do rastro; 2= espaçamento entre rastros;