

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

ADRIANI CRISTINA MONTEIRO DOS SANTOS

Dinâmica reprodutiva, estrutura populacional e ecologia trófica de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) em três áreas de influência de uma grande barragem hidrelétrica neotropical

Toledo

2020

ADRIANI CRISTINA MONTEIRO DOS SANTOS

Dinâmica reprodutiva, estrutura populacional, e ecologia trófica de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) em três áreas de influência de uma grande barragem hidrelétrica neotropical

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Profa. Dra. Elaine Antoniassi Luiz Kashiwaqui.

Toledo

2020

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

Dos Santos, Adriani Cristina Monteiro
Dinâmica reprodutiva, estrutura populacional e ecologia trófica de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) em três áreas de influência de uma grande barragem hidrelétrica neotropical / Adriani Cristina Monteiro Dos Santos; orientador(a), Elaine Antoniassi Luiz Kashiwaqui, 2021.
67 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2021.

1. Peixes migradores. 2. Rio Paraná. 3. Reprodução. 4. Dieta. I. Kashiwaqui, Elaine Antoniassi Luiz. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

ADRIANI CRISTINA MONTEIRO DOS SANTOS

Dinâmica reprodutiva, estrutura populacional, e ecologia trófica de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) em três áreas de influência de uma grande barragem hidrelétrica neotropical

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

COMISSÃO JULGADORA

Profa. Dra. Elaine Antoniassi Luiz Kashiwaqui
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (Presidente)

Profa. Dra. Maristela Cavicchioli Makrakis
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes
Universidade Estadual de Maringá

Aprovada em:

Local de defesa:

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e minha falecida bisavó, que sempre me deram todo o suporte e sonharam junto comigo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus familiares, principalmente meus pais Álvaro e Socorro, minha falecida bisavó Joana, minhas irmãs Cintia e Paty, e meu irmão Maicom, minha tia Pilar e tio Amábilio. Sou agradecida a todos vocês, pela educação, pelo incentivo nos estudos e nas escolhas da vida.

Um agradecimento especial vai para minha orientadora Elaine Kashiwaqui, pelos ensinamentos, confiança, apoio e paciência nestes anos, e pelas diversas oportunidades que me concedeu de qualificação profissional. Não poderia ter escolhido orientadora melhor. Minha sincera gratidão.

Agradeço aos meus amigos Wane Cristina e Diego Rangel, que embarcaram nessa jornada junto comigo, e que sempre me apoiaram antes e durante o mestrado, e por todo o suporte para a realização deste trabalho.

Aos professores Maristela e Sergio Makrakis, que sempre deram todo apoio e ajuda dentro e fora do laboratório, e pelo imenso suporte e contribuições para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Yzel Rondon, pelos ensinamentos e ótima recepção em seu laboratório, e pelo auxílio paciente nas análises.

Aos meus amigos de laboratório Andressa Cristina, Alice Ferreira e Isabel Monteiro, pela amizade e pela ajuda nas triagens laboratoriais.

Agradeço ao Leandro Celestino, Lucilene Assumpção e Patrícia, por todos os conselhos e ensinamentos, que com certeza foram muito válidos para a elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos que conheci nesta jornada do mestrado, Thiago Senes e Martinha Cruz, pela paciência, companhia e amizade, e por tornar meus dias em Mundo Novo e Toledo, mais alegres.

A companhia de Energética de São Paulo (CESP), pelo apoio financeiro e logístico para essa pesquisa.

A CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Dinâmica reprodutiva, estrutura populacional, e ecologia trófica de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) em três áreas de influência de uma grande barragem hidrelétrica neotropical

RESUMO

Os empreendimentos hidrelétricos promovem diversas alterações na bioecologia (reprodução, migração e na alimentação natural) de peixes migradores, que podem resultar em diferenças populacionais espaciais, principalmente entre a jusante e a montante da barragem. Apesar de escadas para peixes serem construídas para minimizar os efeitos do barramento sobre a migração de peixes, muitas questões acerca do comportamento populacional de peixes migradores, no uso da escada para peixes, ainda não foram sanadas. Este estudo teve como objetivo analisar a dinâmica reprodutiva, estrutura populacional e ecologia trófica de *Prochilodus lineatus* no ambiente de jusante, escada para peixes e montante (reservatório) da UHE de Porto Primavera. Foi amostrado exemplares nestes três trechos, sendo avaliados as diferenças espaciais nas taxas reprodutivas, proporção sexual, tamanho e crescimento, estrutura etária, taxas alimentares e composição da dieta. Há evidências de reprodução da espécie a montante e a jusante da barragem. Porém, as operações hidrelétricas afetam a sincronização reprodutiva com os estímulos ambientais. Foi registrado diferenças espaciais na proporção sexual, tamanho, crescimento e composição etária. Houve diferenças da atividade alimentar entre os três ambientes, e a dieta da espécie foi distinta entre jusante e escada para peixes, uma vez este sistema pode restringir ou promover a abundância de alguns recursos alimentares.

Palavras-chave: Rio Paraná, peixes migradores, reprodução, dieta.

Reproductive dynamics, population structure, and trophic ecology of
Prochilodus lineatus (Valenciennes, 1836) in three areas of influence of a large
neotropical hydroelectric dam

ABSTRACT

The hydroelectric projects promote several changes in the reproduction, migration and natural feeding of migratory fish, which can result in population differences between downstream and upstream of the dam. Although fish ladders are built to minimize the effects of the dam on fish migration, many questions about the population behavior of migratory fish in the use of the fish ladder have not yet been addressed. This study aimed to analyze the reproductive dynamics, population structure and trophic ecology of *P. lineatus* in the downstream environment, fish ladder and upstream (reservoir) of the Porto Primavera HPP. We sampled specimens in these three sections, evaluating the spatial differences in reproductive rates, sex ratio, size and growth, age structure, dietary rates and diet composition. The results show that *P. lineatus* reproduces upstream and downstream of the dam. However, hydroelectric operations affect reproductive synchronization with environmental stimuli. Spatial differences in sex ratio, size, growth and age composition were recorded. There were differences in feeding activity between the three environments, and the species' diet was different between downstream and ladder for fish, since this system may have been restricting or promoting the abundance of some food resources.

Keywords: Paraná River, migratory fish, reproduction, diet.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica Marine and Freshwater Research (Capítulo I), disponível em: <<https://www.publish.csiro.au/mf/forauthors/Authorinstructions>>, e *Journal of Applied Ichthyology* (Capítulo II), disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/14390426/homepage/forauthors.html>>.

SUMÁRIO

Capítulo I: Dinâmica reprodutiva e estrutura populacional de <i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836) em três áreas de influência de uma grande barragem hidrelétrica neotropical.....	11
Introdução.....	13
Métodos	15
<i>Área de estudo.....</i>	<i>15</i>
<i>Coleta de dados.....</i>	<i>16</i>
<i>Análise da reprodução e proporção sexual</i>	<i>17</i>
<i>Análise da idade e crescimento.....</i>	<i>18</i>
Resultados	19
<i>Dinâmica reprodutiva</i>	<i>19</i>
<i>Proporção sexual</i>	<i>25</i>
<i>Crescimento e composição etária</i>	<i>25</i>
Discussão	27
Considerações finais.....	33
Referências.....	34
Capítulo II: Ecologia trófica de <i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836) no trecho de jusante, escada para peixes e reservatório da UHE de Porto Primavera, Alto rio Paraná, Brasil	47
Introdução.....	48
Material e Métodos	49
<i>Área de estudo</i>	<i>49</i>
<i>Coleta e análise de dados.....</i>	<i>50</i>
<i>Análise da ecologia trófica</i>	<i>51</i>
<i>Análise estatística.....</i>	<i>52</i>
Resultados	52
Discussão	56
Considerações finais.....	59
Referências.....	60

1 **Capítulo I: Dinâmica reprodutiva e estrutura populacional de *Prochilodus lineatus***
2 **(Valenciennes, 1836) em três áreas de influência de uma grande barragem hidrelétrica**
3 **neotropical**
4

5 **RESUMO**

6 As barragens geram diversos impactos negativos sobre a migração, estratégias reprodutivas e
7 estrutura populacional de peixes migradores. Portanto, este estudo investigou a dinâmica
8 reprodutiva e os parâmetros populacionais de *Prochilodus lineatus* entre o ambiente de
9 montante (reservatório), jusante e escada para peixes da barragem de Porto Primavera. Foi
10 amostrado exemplares *P. lineatus* nestes três ambientes, visando correlacionar a reprodução
11 com as particularidades ambientais locais, e avaliar diferenças espaciais reprodutivas,
12 proporção sexual, tamanho, crescimento e composição etária da espécie. Há evidências de
13 reprodução da espécie a montante e a jusante da barragem. Entretanto, as operações
14 hidrelétricas podem ter afetado a sincronização reprodutiva com os estímulos ambientais. Foi
15 registrado diferenças espaciais na proporção sexual, tamanho, crescimento e composição etária.
16 A conservação dos tributários de fluxo livre, a regulação adequada da descarga de água em
17 períodos sensíveis como a reprodução, e adequação das variáveis hidráulicas da escada, visando
18 gerar acessibilidade para adultos menores com capacidade natatória inferiores, são importantes
19 medidas para reduzir os efeitos do barramento na reprodução e estrutura populacional de peixes
20 migradores.

21 **Palavras-chave:** Rio Paraná, peixes migradores, estratificação espacial.
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34

35 Reproductive dynamics and population structure of *Prochilodus lineatus*
36 (Valenciennes, 1836) in three areas of influence of a large neotropical
37 hydroelectric dam

38 **ABSTRACT**

39 Dams have several negative impacts on migration, reproductive strategies and the population
40 structure of migratory fish. Therefore, this study investigated the reproductive dynamics and
41 population parameters of *Prochilodus lineatus* between the upstream (reservoir), downstream
42 and fish ladder environment of the Porto Primavera dam. Samples of *P. lineatus* were sampled
43 in these three environments, aiming to correlate reproduction with local environmental
44 particularities, and to evaluate reproductive spatial differences, sexual proportion, size, growth
45 and age composition of the species. There is evidence of reproduction of the species upstream
46 and downstream of the dam. However, hydroelectric operations may have affected reproductive
47 synchronization with environmental stimuli. Spatial differences in sex ratio, size, growth and
48 age composition were recorded. The conservation of free flow tributaries, the proper regulation
49 of water discharge in sensitive periods such as reproduction, and the adequacy of the hydraulic
50 variables of the ladder, in order to generate accessibility for smaller adults with lower
51 swimming capacity, are important measures to reduce the effects of the dam reproduction and
52 population structure of migratory fish.

53 **Keywords:** Paraná River, migratory fish, spatial stratification.

69 **Introdução**

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

As barragens modificam profundamente a fisiografia dos rios (Shmutz e Moog, 2018) pela formação de reservatórios, interferem nos padrões de migrações e nas estratégias reprodutivas dos peixes (Agostinho *et al.*, 2004). Essa interferência afeta, diretamente, os peixes migradores de longa distância e é, basicamente, formalizada pela ruptura da conectividade estrutural (longitudinal) por meio da mudança do uso da terra, das paisagens e dos habitats, impedindo o movimento das espécies aos seus arredores (Auffret *et al.*, 2015). Como consequência, desestabiliza espaço-temporalmente a conectividade funcional (resposta dos organismos aos vários elementos da paisagem) (Perônico *et al.*, 2020) e determina os efeitos ecológicos do impacto antrópico sobre os indivíduos, populações e comunidades.

Os impactos da construção de barragens hidrelétricas sobre os peixes são diversos (Agostinho *et al.*, 2007; Agostinho *et al.*, 2008) e, em sua maioria, negativos. Portanto, barragens são ameaças à diversidade de espécies de peixes e aos serviços ecossistêmicos do ambiente aquático (Winemiller *et al.*, 2016), em especial a produção pesqueira, baseada em grandes peixes migradores. Por outro lado, a matriz energética brasileira é hídrica e praticamente as grandes bacias hidrográficas do Brasil são reguladas por barragens. A bacia do alto rio Paraná, por exemplo, é a mais regulada da América do Sul (Zarfl *et al.*, 2015), possui 389 hidrelétricas em operação, e estima-se que apenas 9% dessas possuem sistemas de transposição para peixes, que em sua maioria são escadas para peixes (Makrakis *et al.*, 2019). Os sistemas de transposição para peixes são construídos para reestabelecer a conexão entre habitats de reprodução, alimentação e desenvolvimento de peixes migradores (Lucas e Baras, 2001).

No Brasil, várias medidas legislativas foram tomadas exigindo a implantação de sistemas de transposição de peixes em barramentos (Minas Gerais, 1997; São Paulo, 1997; Brasil, 1998; Paraná, 2007), com o objetivo de atenuar os impactos dos barramentos sobre as espécies de peixes migradoras (Lucas & Baras, 2001). Essas leis foram baseadas no relativo sucesso de escadas para as espécies de salmonídeos no hemisfério Norte (Junho, 2008). Assim, escadas para peixes foram construídas em empreendimentos hidrelétricos brasileiros. Concomitantemente, vários estudos de avaliação do impacto de represamentos sobre a biota aquática e monitoramento da eficiência dos sistemas de transposição para peixes foram realizados (Da Silva *et al.*, 2012; Gutfreund *et al.*, 2018). Contudo, muitas questões acerca do comportamento populacional de peixes migradores no uso da escada para peixes ainda não foram sanadas, especialmente para espécies migradoras de longa distância da bacia do alto rio

103 Paraná. Devido a importância dos migradores para a pesca nesta região, estudos que envolvam
104 a influência de barragens na dinâmica populacional e o efeito das escadas para peixes na
105 manutenção dessa população, auxiliam na conservação dessas espécies, em particular o
106 curimba.

107 O curimba *Prochilodus lineatus* (= *Prochilodus scrofa*) é um migrador de longas
108 distâncias, capaz de migrar mais de 1.000 km por ano para a reprodução (Godoy, 1962;
109 Makrakis *et al.*, 2012), com valores médios mais comuns entre 450 e 600 km (Agostinho *et al.*,
110 1993a; Espinach-ros e Delfino, 1993). No rio Paraná, os adultos migram no período reprodutivo
111 (verão) para a porção superior do rio (Alto rio Paraná) para realizar a desova total. Os ovos e
112 larvas derivam para os tributários e lagoas laterais, onde se alimentam, crescem e permanecem
113 até atingirem a maturação (1-2 anos), regressando ao rio após nova inundação (Agostinho *et*
114 *al.*, 1993a; Gomes e Agostinho, 1997). A Usina Hidrelétrica Engenheiro Sergio Motta (Porto
115 Primavera), localizada no Alto rio Paraná, possui um sistema de transposição (escada) para
116 peixes, que permite movimentos ascendentes e descendentes de *P. lineatus* dentro e fora do
117 período reprodutivo (Celestino *et al.*, 2019). No entanto, passagens para peixes podem não ser
118 capazes de garantir o sucesso reprodutivo do peixe, quando este precisar vencer diversas
119 barragens (Shmutz e Moog, 2018) em sistema de cascatas, como o caso do rio Paraná (Makrakis
120 *et al.*, 2019). Desta forma, sucessivas barragens podem ocasionar o atraso reprodutivo, inibir o
121 processo de maturação (Agostinho *et al.*, 2002) e acarretar atresia gonadal (Agostinho *et al.*,
122 1993b), comprometendo o recrutamento de espécies migradoras (Agostinho *et al.*, 2008).

123 Ademais, as manipulações dos fluxos diários e sazonais da água, pelas operações das
124 barragens, não só afetam no processo reprodutivo de peixes migradores (Agostinho *et al.*,
125 2004), como também regulam a disponibilidade de alimento a jusante (Hahn e Fugi, 2007;
126 Jones, 2013), resultando em acréscimos (Bond e Jones, 2015; Finch *et al.*, 2015) ou decréscimos
127 do crescimento corporal do peixe (Korma e Campana, 2009) nesses ambientes.

128 É importante que a escada para peixes cumpra com a conectividade funcional entre os
129 sistemas. Caso contrário, uma segregação populacional de idade e tamanho pode ocorrer em
130 situações em que os movimentos são unidirecionais (Hauser *et al.*, 2018). Entretanto, o sucesso
131 da migração ascendente por escada para peixes depende da sua atratividade (Makrakis *et al.*,
132 2007), operação hidráulica (Baigún *et al.*, 2012), posição e design deste sistema (Clay, 1995;
133 Larinier, 2002), e a capacidade natatória, energética e morfológica do peixe (Volpato *et al.*,
134 2009; Assumpção *et al.*, 2012; Bido *et al.*, 2018). Em contrapartida, o sucesso da migração
135 descendente depende da detecção da entrada da escada no reservatório, fato que é complicado,

136 uma vez que a escada geralmente não consegue exercer um fluxo atrativo no reservatório,
137 fazendo com que os peixes reofílicos, que costumam evitar ambientes lênticos, permaneçam
138 em áreas lólicas a montante da barragem (Pelicice e Agostinho, 2008).

139 Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica reprodutiva e os
140 parâmetros populacionais de *Prochilodus lineatus* entre o sistema a montante (reservatório),
141 jusante e escada para peixes da barragem de Porto Primavera, utilizando esta espécie migradora
142 como modelo para verificar as respostas reprodutivas mediante aos estímulos ambientais, e
143 verificar diferenças populacionais reprodutivos, proporção sexual, tamanho, crescimento e
144 estrutura etária entre os ambientes, visando auxiliar em estratégias efetivas de conservação de
145 peixes migradores.

146

147 **Métodos**

148 *Área de estudo*

149 A Usina Hidrelétrica Engenheiro Sergio Motta conhecida como Porto Primavera,
150 localiza-se no Alto rio Paraná, entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (Makrakis
151 *et al.*, 2007) (Fig. 1). A Usina possui o maior reservatório do Rio Paraná (Shibatta e Dias, 2006),
152 com 2.250 km², com um volume de água acumulada de 20 milhões de m³ (Jorcín *et al.*, 2009),
153 drena uma bacia de 572.489 km² (Shibata e Dias, 2006). A barragem possui 13 km de largura,
154 22 m de altura (Makrakis *et al.*, 2007) e 16 vertedouros de superfície (Shibatta e Dias, 2006).
155 Entre a jusante da barragem de Porto Primavera até o reservatório de Itaipu (cerca de 230 km)
156 (Agostinho *et al.*, 2007), uma planície de inundação remanescente funcional permanece intacta
157 (Reynalte-Tataje *et al.*, 2013). A montante da barragem, a maior parte da planície de inundação
158 foi submersa pelo reservatório (Celestino *et al.*, 2019). Entretanto, a presença de diversos
159 tributários de fluxo livre, fornecem um ambiente adequado para a desova de peixes sedentários
160 e potamódromos (Da Silva *et al.*, 2015; Da Silva *et al.*, 2019).

161 A escada para peixes de Porto Primavera (Fig. 1), localizada no lado esquerdo da
162 barragem, é do tipo degraus tanques com orifícios (Makrakis *et al.*, 2007), e possui 472,5 m de
163 comprimento, sendo composta por 50 tanques delimitados por defletores, com três orifícios
164 inferiores de 0,80 x 0,80 m e três vertedouros com a mesma medida (Celestino *et al.*, 2019). Do
165 total de tanques, 47 possuem 5,0 m de largura e 8,0 m de comprimento. Três tanques funcionam
166 como área de descanso, sendo mais compridos que os demais, nos quais os tanques 11, 22 e 36
167 possuem 16,0 m, 24,6 m, e 18,0 m de comprimento, respectivamente (Makrakis *et al.*, 2007;

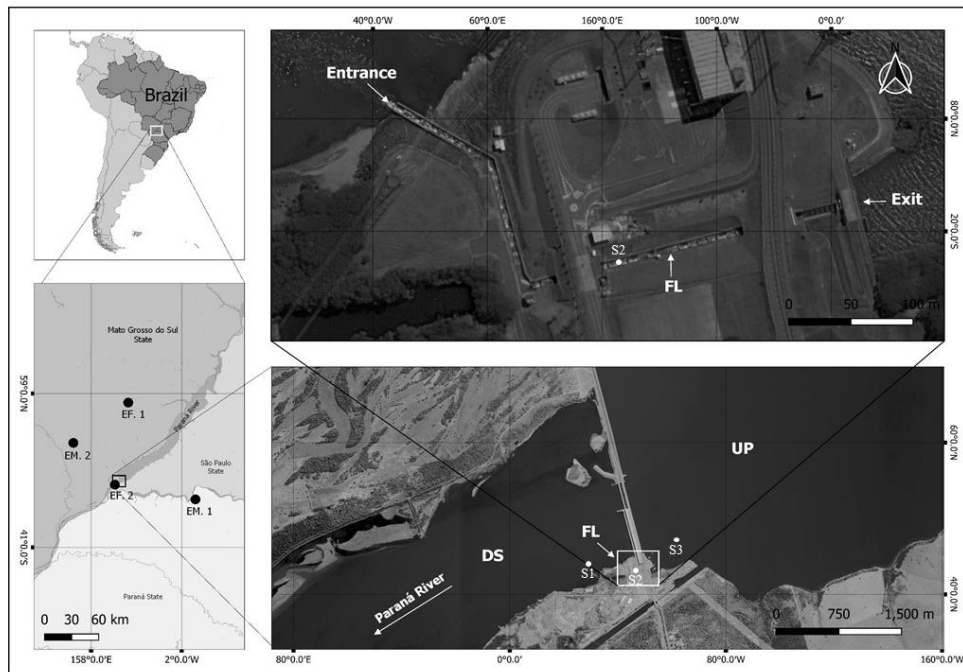
168 Bido *et al.*, 2018). Todos os tanques possuem 2,0 m de profundidade, com diferença do nível
169 da água entre os tanques de 0,45 m (Celestino *et al.*, 2019).

170

171 *Coleta de dados*

172 A captura de peixes foi realizada no período reprodutivo, nos meses de novembro e
173 dezembro de 2018, e janeiro, fevereiro, março e novembro de 2019. Foi coletado um total de
174 145 indivíduos de *Prochilodus lineatus* em três pontos de coleta: jusante – DS (S1) (N = 49),
175 caracterizado como ambiente lótico; escada para peixes – FL (S2) (N = 38), que consiste de um
176 sistema de forte correnteza; e montante – UP (S3) (N = 58), definido como ambiente lântico
177 (Fig. 1). Para a captura foram utilizadas tarrafas de malhas 12, 13 e 14 cm entre nós adjacentes,
178 e com 12 m de diâmetro. Posteriormente, os peixes foram eutanasiados em solução de
179 benzocaína com concentração de 100 mg/litro.

180



181

182 **Figura 1.** Localização da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera no Alto Rio Paraná, Brasil, e
183 os respectivos pontos de coleta: Jusante-DS (S1), escada para peixe - FL (S2) e montante-UP
184 (S3). EF.1 = estação fluviométrica UHE Porto Primavera Fazenda Buriti; EF.2 = estação
185 fluviométrica UHE Porto Primavera Jusante I; EM.1 = estação meteorológica de Paranapoema-
186 PR; EM.2 = estação meteorológica de Nova Andradina – MS.

187

188 *Análise da reprodução e proporção sexual*

189 Em laboratório, registrou-se os valores de peso total (PT) e comprimento total (CT) dos
190 indivíduos. As gônadas foram retiradas, pesadas e identificadas macroscopicamente (quanto à
191 vascularização superficial, coloração, volume e presença de óvulos), conforme os estágios de
192 maturação gonadal proposto por Vazzoler (1996): imaturo; em maturação; maduro; semi-
193 esgotado; esgotado e repouso. Os padrões espaço-temporais da atividade reprodutiva de fêmeas
194 (♀) e machos (♂) adultos de *P. lineatus* foram avaliados pelo Índice de atividade reprodutiva
195 (IAR) (excluindo-se indivíduos imaturos), a partir do método proposto por Agostinho *et al.*
196 (1991). Através deste método, a reprodução foi classificada em nula ($IAR \leq 2$), incipiente ($2 <$
197 $IAR \leq 5$), moderada ($5 < IAR \leq 10$), intensa ($10 < IAR \leq 20$) e muito intensa ($IAR > 20$). O
198 Fator de condição total (K1), que determina o estágio de hígidez dos peixes, foi calculado para
199 machos e fêmeas separadamente, pelo método alométrico (Vazzoler, 1996): $K1 = PT/CT^b$, na
200 qual o coeficiente angular b é o valor estimado pela equação da relação peso comprimento (PT
201 $= aCT^b$, sendo a e b estimativas dos parâmetros da regressão), após a transformação logarítmica
202 dos dados (\log_{10}) (Froese, 2006). Para eliminar possíveis interferências do peso das gônadas
203 (PG) para a condição dos machos e fêmeas, foi calculado o fator de condição somático (K2), a
204 partir da expressão: $K2 = PC/CT^b$, sendo peso do corpo (PC) = $PT - PG$, e o coeficiente b foi
205 estimado pelo mesmo método do K1 (Vazzoler, 1996). A variação espacial (entre os ambientes)
206 e temporal (entre os meses do período reprodutivo para cada ambiente) de IAR, K1 e K2 foi
207 testada através da análise de variância de um fator (ANOVA unifatorial) e com teste de *Tukey*,
208 quando significativo. Quando não atendido ao pressuposto da normalidade ($n < 30$ = teste de
209 *Shapiro-Wilk*; $n \geq 30$ = teste de *Kolmogorov-Smirnov*), foi aplicado anova não paramétrico de
210 *Kruskal-Wallis*.

211 Com o intuito de caracterizar as variações ambientais na área de estudo, a precipitação
212 total mensal (PREC), temperatura atmosférica (TEMP), nível fluviométrico de montante
213 (NFMON) e nível fluviométrico de jusante (NFJUS) foram correlacionados entre si, através da
214 correlação de *Pearson*. Sabendo que estas variáveis influenciam fortemente na reprodução de
215 *Prochilodus lineatus* (Barbieri *et al.* 2000; Silva *et al.* 2009; Vicentin *et al.*, 2012), e que a
216 reprodução afeta no fator de condição da espécie (Ramos *et al.* 2010), foi realizado a análise de
217 correlação não paramétrica de *Spearman* (para os sexos e pontos separadamente) entre as
218 variáveis ambientais com o IAR, K1 e K2. Os dados de precipitação foram obtidos pelas

219 estações meteorológicas de Paranapoema-PR/A850 (EM.1) e Nova Andradina-MS/S713
220 (EM.2) (Fig. 1), que foram disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

221 Os dados do nível fluviométrico foram disponibilizados pela Agência Nacional de águas
222 (ANA), via *HidroWeb*, pelas seguintes estações: UHE Porto Primavera Jusante I (EF.2),
223 localizado no Rio Paraná (Rosana-SP) a jusante da barragem (Fig. 1), sendo utilizada para aferir
224 o nível do rio neste sistema (NFJUS), e UHE Porto Primavera Fazenda Buriti (EF.1), localizada
225 no Rio Pardo (Bataguassu-MS) (Fig. 1), sendo utilizado para aferir o nível do rio a montante
226 da barragem (NFMON). Esta última, localizada no Rio Pardo, foi a estação mais próxima do
227 reservatório que fornecia dados para o período de estudo. Com o propósito de testar possíveis
228 diferenças na proporção sexual da espécie entre os pontos, foi aplicado o teste de qui-quadrado
229 (χ^2), admitindo que a proporção sexual esperada em todos os casos seja de 50%:50%. Os valores
230 de $\chi^2 > 3,84$ foram considerados significativamente diferentes (Vazzoler, 1996).

231

232 *Análise da idade e crescimento*

233 Com o intuito de verificar diferenças no tamanho e peso para os sexos separados entre
234 os pontos, foi aplicado uma ANOVA de um fator, com posterior teste de *Tukey*. A relação entre
235 o peso (PT) e comprimento total (CT) foi estimada para machos e fêmeas em cada ponto pela
236 equação $PT = aCT^b$ (Ricker, 1973). O teste t para uma amostra, foi aplicado para verificar se o
237 coeficiente angular (*b*), resultante da relação peso-comprimento, foi estatisticamente diferente
238 de 3,0 (crescimento isométrico). Desta forma, o tipo de crescimento foi classificado em:
239 crescimento isométrico ($b = 3$); alométrico negativo ($b < 3$); alométrico positivo ($b > 3$) (Froese,
240 2006). Para verificar a existência de significância na comparação dos coeficientes angulares (*b*)
241 de machos e fêmeas entre os pontos, foi aplicado o teste de *Kruskal-Wallis*.

242 Para identificação da idade do peixe, utilizou-se as escamas como estrutura óssea para
243 as leituras de anéis de crescimento. Estas foram retiradas da superfície do corpo coberta pela
244 nadadeira peitoral, com a finalidade de evitar escamas regeneradas (Laevastu, 1980). A
245 preparação, montagem e leitura das escamas seguiu a metodologia de Vazzoler (1981). Os
246 parâmetros de crescimento “K” (taxa de crescimento/ano) e L_{∞} (crescimento total máximo
247 assintótico) foram estimados através da rotina do ELEFAN I (*Electronic Length Frequency*
248 *Analysis*) no programa FISAT (Gayanilo e Pauly, 1997) conforme a equação de *Von*
249 *Bertalanffy*: $CT = L_{\infty} * [1 - e^{-k * (t - t_0)}]$, onde CT = comprimento total (cm) dos indivíduos com
250 idade *t*; e = base do logaritmo neperiano; *t* = idade dos indivíduos em anos; t_0 = comprimento
251 total médio dos indivíduos no instante de nascimento. Este último parâmetro pode ser

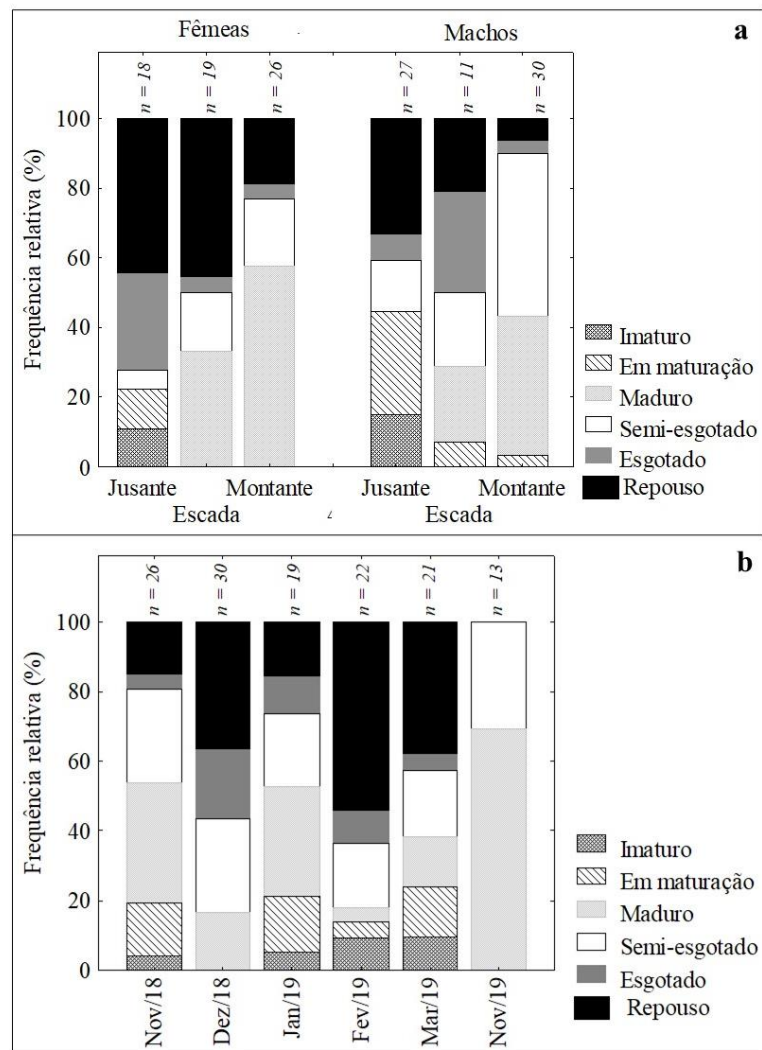
252 considerado apenas um artefato matemático sem significado biológico (Moreau, 1987), e foi
253 considerado igual a zero. Os dados de machos e fêmeas e os respectivos pontos de amostragens
254 foram agrupados para a análise dos parâmetros de crescimento. Com o objetivo de detectar
255 diferenças etárias entre os ambientes de amostragem, foi aplicado o teste de *Kruskal-Wallis*.
256 Diferenças na distribuição de idade entre os sexos em cada ambiente, foram verificadas
257 utilizando-se o teste *Kolmogorov Smirnov*. Este procedimento foi realizado para as classes
258 idade com a abundância relativa de machos e fêmeas em cada classe. Para as análises
259 estatísticas, utilizou-se os softwares *Statistica* (StatSoft) 7.0 e *Bioestat* 5.0.

260

261 **Resultados**

262 *Dinâmica reprodutiva*

263 No sentido jusante-montante, fêmeas e machos apresentaram valores crescentes dos
264 estádios maduros e semi-esgotados. Para os demais estádios (imaturo, em maturação, esgotado
265 e repouso) as maiores frequências foram para jusante. A exceção foi para macho esgotado, que
266 apresentou valores elevados na escada. Detalhadamente, o sistema a jusante da barragem de
267 Porto Primavera apresentou elevada frequência de fêmeas e machos em repouso, mas não foi
268 registrado exemplares com gônadas maduras para ambos os sexos (Fig. 2a). Na escada para
269 peixes, fêmeas em repouso e machos esgotados foram frequentes. No reservatório (montante),
270 registrou-se maiores frequências de fêmeas maduras e machos em estágio semi-esgotado e
271 maduros, respectivamente (Fig. 2a). Não houve registros de fêmeas e machos imaturos na
272 escada para peixes e no reservatório (montante) (Fig. 2a). Maior frequência de peixes em
273 estágio maduro e semi-esgotado foi registrado em novembro de 2019, e fevereiro foi marcado
274 pela elevada frequência de indivíduos em repouso (Fig. 2b).

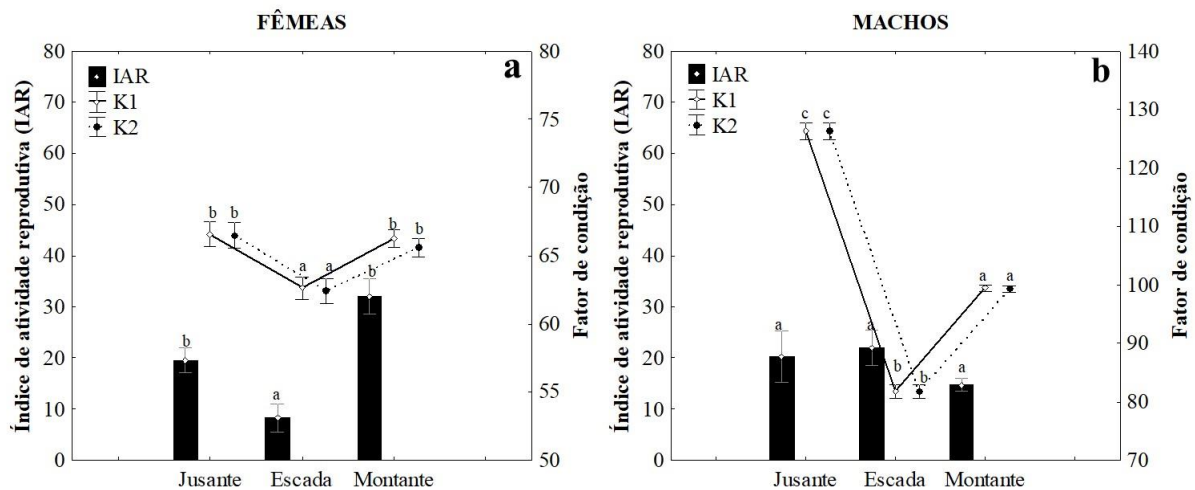


275

276 **Figura 2.** Frequência relativa (%) dos estágios gonadais entre os ambientes amostrados (a) e
 277 para os meses do período reprodutivo, com os sexos agrupados (b).

278

279 As fêmeas de *P. lineatus* apresentaram variação dos valores do Índice de atividade
 280 reprodutiva (IAR) entre os ambientes distintos ($p = < 0,001$), fato que não ocorreu para os
 281 machos ($p = 0,14$). As fêmeas capturadas a montante demonstraram maior IAR comparadas às
 282 fêmeas na escada para peixes, porém, similar as fêmeas de jusante (Fig. 3b). O K1 e K2 variou
 283 entre os pontos para as fêmeas (K1: $p = 0,002$; K2: $p = 0,004$) e machos (K1 e K2: $p = < 0,001$),
 284 revelando menores valores na escada para ambos os sexos (Fig. 3a-b) e maiores valores a
 285 jusante e montante para as fêmeas (Fig. 3a) e jusante para os machos (Fig. 3b).

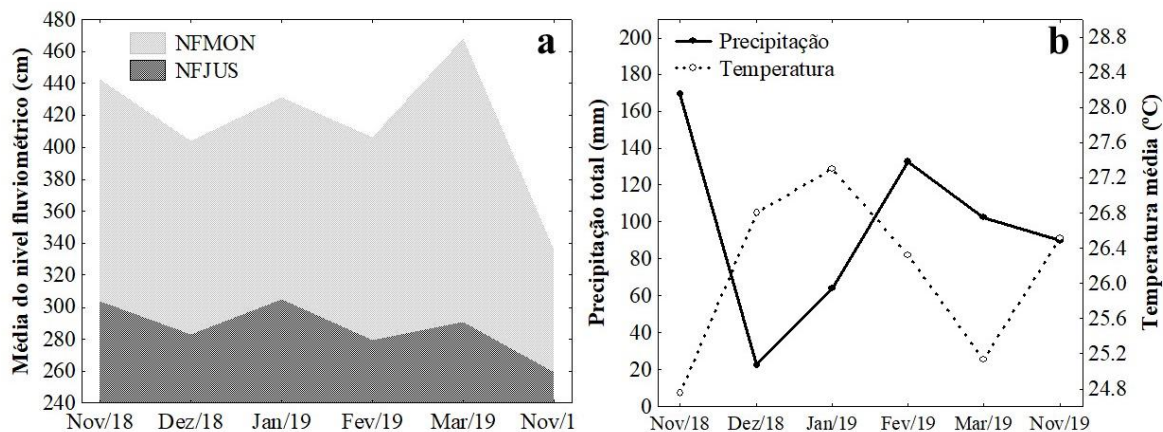


286

287 **Figura 3.** Médias e erro padrão do índice de atividade reprodutiva (IAR) e do fator de condição
 288 total (K1) e somático (K2) para fêmeas (a) e machos (b) entre os ambientes. Letras distintas
 289 indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

290

291 Em relação ao gradiente temporal, a análise de correlação de *Pearson* evidenciou
 292 relação positiva entre nível fluviométrico de montante (NFMON) e nível fluviométrico de
 293 jusante (NFJUS) (Fig. 4a; tabela 1). Os níveis fluviométricos não se correlacionaram com a
 294 precipitação (PREC) e temperatura (TEMP) (Tabela 1). No sistema a jusante, a correlação de
 295 *Spearman* evidenciou que o IAR das fêmeas se correlacionou negativamente com NFMON e
 296 NFJUS, enquanto o IAR dos machos teve relação negativa com TEMP (Tabela 1). Na escada
 297 para peixes, o IAR das fêmeas se correlacionou positivamente com NFJUS, e negativamente
 298 com a PREC, enquanto os machos obtiveram relação negativa do IAR com NFMON, NFJUS,
 299 K1 e K2 (Tabela 01). No ambiente a montante, o IAR e o fator de condição (K1 e K2) das
 300 fêmeas se correlacionou negativamente com a PREC, enquanto o IAR destas, teve relação
 301 positiva com a TEMP e NFJUS (Tabela 1). Os machos deste ambiente, obtiveram correlação
 302 negativa do IAR com o NFMON e NFJUS (Tabela 1). Em todos os pontos, ocorreu forte relação
 303 positiva entre K1 e K2 de machos e fêmeas (Tabela 1).



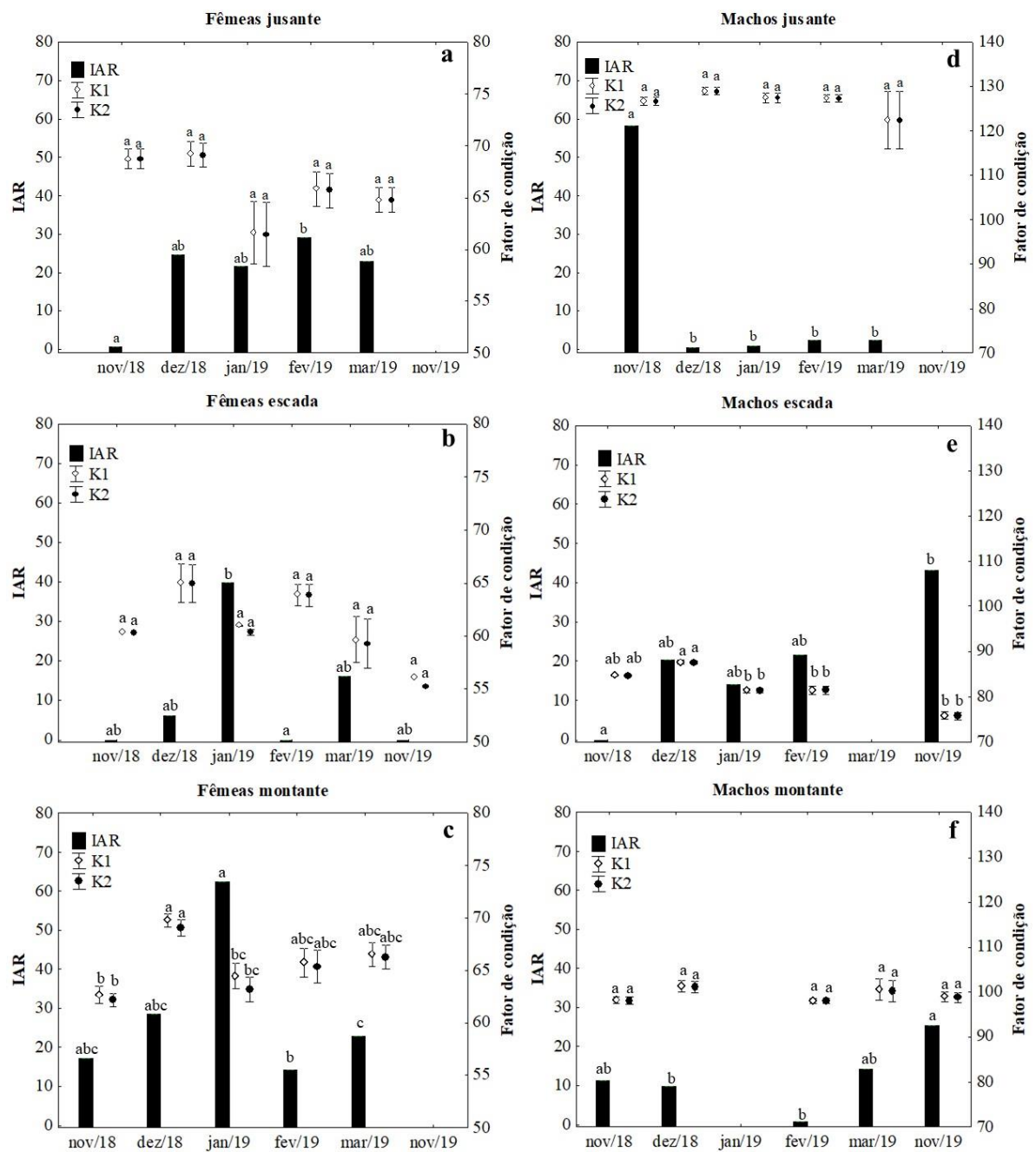
304

305 **Fig. 4.** Média do nível fluviométrico de montante (NFMON) e jusante (NFJUS) da barragem
 306 de Porto Primavera (a) e precipitação total mensal e média da temperatura atmosférica (b).

307 **Tabela 1.** Coeficientes de correlação entre o IAR (Índice de atividade reprodutiva), fator de
 308 condição total (K1) e somático (K2) de machos e fêmeas de *P. lineatus*; temperatura
 309 atmosférica (TEMP); Precipitação total mensal (PREC); Nível fluviométrico de montante
 310 (NFMON); Nível fluviométrico de jusante (NFJUS). *Correlação significativa ($p < 0,05$).

JUSANTE							
Fêmeas acima da diagonal e machos abaixo da diagonal							
	IAR	K1	K2	TEMP	PREC	NFMON	NFJUS
IAR	-	-0,054	-0,054	0,305	-0,361	-0,668*	-0,909*
K1	-0,255	-	0,997*	-0,205	-0,010	-0,255	-0,143
K2	-0,268	0,998*	-	-0,205	-0,010	-0,255	-0,143
TEMP	-0,890*	0,150	0,173	-	-0,743	-0,499	-0,243
PREC	0,840*	-0,255	-0,268	-0,743	-	0,240	0,193
NFMON	0,557*	-0,069	-0,081	-0,499	0,240	-	0,842*
NFJUS	0,127	-0,168	-0,173	-0,243	0,193	0,842*	-
ESCADA							
	IAR	K1	K2	TEMP	PREC	NFMON	NFJUS
IAR	-	-0,349	-0,392	0,342	-0,698*	0,295	0,837*
K1	-0,641*	-	0,994*	0,221	-0,044	-0,315	-0,257
K2	-0,641*	0,999*	-	0,182	-0,028	-0,332	-0,273
TEMP	-0,236	0,032	0,032	-	-0,743	-0,499	-0,243
PREC	0,159	-0,220	-0,220	-0,743	-	0,240	0,193
NFMON	-0,768*	0,267	0,267	-0,499	0,240	-	0,842*
NFJUS	-0,971*	0,576	0,576	-0,243	0,193	0,842*	-
MONTANTE							
	IAR	K1	K2	TEMP	PREC	NFMON	NFJUS
IAR	-	0,139	0,065	0,838*	-0,799*	-0,281	0,523*
K1	-0,156	-	0,977*	0,170	-0,520*	-0,389	-0,479*
K2	-0,168	0,994*	-	0,085	-0,463*	-0,349	-0,519*
TEMP	-0,217	0,228	0,226	-	-0,743	-0,499	-0,243
PREC	0,165	-0,241	-0,241	-0,743	-	0,240	0,193
NFMON	-0,387*	0,027	0,033	-0,499	0,240	-	0,842*
NFJUS	-0,412*	0,033	0,0361	-0,243	0,193	0,842*	-

311 O IAR das fêmeas variou mensalmente no sistema de jusante ($p = 0,001$), escada para
312 peixes ($p = 0,002$) e montante ($p < 0,001$). O K1 e K2 das fêmeas variou mensalmente apenas
313 no ambiente de montante (K1 e K2: $p = 0,007$, respectivamente). As fêmeas de jusante
314 apresentaram IAR muito intenso ($IAR > 20$) na maioria dos meses do período reprodutivo,
315 tendo ápice em fevereiro de 2019 (Fig. 5a). As fêmeas apresentaram ápice do IAR, K1 e K2 em
316 janeiro de 2019 na escada para peixes (Fig. 5b) e no ambiente de montante (Fig. 5c), sendo
317 também registrado atividade reprodutiva muito intensa ($IAR > 20$) em dezembro e março (Fig.
318 5c). O IAR dos machos também foi distinto estatisticamente entre os meses do período
319 reprodutivo no ambiente de jusante ($p < 0,001$), escada para peixes ($p = 0,04$) e montante
320 ($p < 0,001$), e diferenças significativas mensais do K1 e K2 ocorreram apenas na escada para
321 peixes (K1 e K2: $p = 0,002$, respectivamente). Os machos de jusante apresentaram ápice
322 reprodutivo em novembro de 2018 (Fig. 5d), enquanto os machos da escada (Fig. 5e) e montante
323 (Fig. 5f) obtiveram ápice reprodutivo em novembro de 2019. Não foi possível calcular o IAR,
324 K1 e K2 para os meses onde a captura foi ausente (Fig. 5).



325

326

327

328

329

330

331

Figura 5. Índice de atividade reprodutiva (IAR) e médias e erro padrão do fator de condição total (K1) e somático (K2) de fêmeas e machos de *P. lineatus* dos ambientes de montante, da escada para peixes e jusante da barragem de Porto Primavera. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

332 *Proporção sexual*

333 O teste do qui-quadrado (χ^2) mostrou diferenças significativas na proporção sexual entre
 334 os ambientes ($p = 0,003$). A proporção sexual de 1:1 foi encontrado no ambiente de jusante
 335 (% ♀ = 40,00; % ♂ = 60,00; $\chi^2 = 4,00$) e montante (% ♀ = 46,43; % ♂ = 53,57; $\chi^2 = 0,51$). Em
 336 contrapartida, na escada para peixes, a relação foi de 2:1 (fêmeas♀: machos♂) (% ♀: 63,33;
 337 % ♂: 36,67; $\chi^2 = 7,11$).

338 *Crescimento e composição etária*

339 A variação no comprimento total (tamanho - CT) e peso (PT) das fêmeas e machos, em
 340 relação aos ambientes de amostragem, foi significativa (CT e PT: $p < 0,001$, respectivamente),
 341 sendo que indivíduos menores em tamanho e peso caracterizaram o sistema a jusante da
 342 barragem, e exemplares e maiores e mais pesados caracterizavam o sistema montante e escada
 343 (Tabela 2). O comprimento dos peixes de montante e escada foi similar para ambos os sexos
 344 (Tabela 2).

345 **Tabela 2.** Valores máximos (máx), mínimos (mín), médias e desvio padrão (DP) do
 346 comprimento total e peso de fêmeas (F♀) e machos (M♂) de *P. lineatus* entre os ambientes
 347 amostrados.

Ponto	Sexo	Comprimento total (cm)			Peso (g)		
		Máx	Mín	Média ± DP	Máx	Mín	Média ± DP
Jusante	F♀	52,90	32,30	38,73 ± 5,96a	2618,00	492,79	1007,50 ± 568,57a
Escada	F♀	66,66	37,20	49,26 ± 7,75b	5375,90	923,46	2013,00 ± 1117,40b
Montante	F♀	61,80	40,00	52,60 ± 6,12b	4016,73	1033,70	2800,64 ± 918,86c
Jusante	M♂	40,10	30,20	35,61 ± 2,73a	1171,00	377,84	712,48 ± 203,22a
Escada	M♂	65,00	40,30	49,46 ± 7,66b	3661,30	1099,10	1830,80 ± 843,72b
Montante	M♂	58,70	39,90	50,06 ± 4,66b	3337,53	1265,70	1896,94 ± 507,91c

348

349 As fêmeas de *P. lineatus* apresentaram crescimento alométrico positivo no ambiente de
 350 jusante e na escada para peixes ($b > 3$). Entretanto, as fêmeas de montante evidenciaram
 351 crescimento isométrico ($b = 3$) (Tabela 3). Os machos demonstraram crescimento alométrico
 352 positivo ($b > 3$) na jusante, e crescimento alométrico negativo ($b < 3$) na escada para peixes e a
 353 montante da barragem (Tabela 3). Houve diferenças significativas do coeficiente angular (b)
 354 entre os pontos para fêmeas e machos ($p < 0,001$, respectivamente), onde observou-se
 355 diminuição do coeficiente angular (b) no sentido de jusante para a montante para ambos os
 356 sexos (Tabela 3).

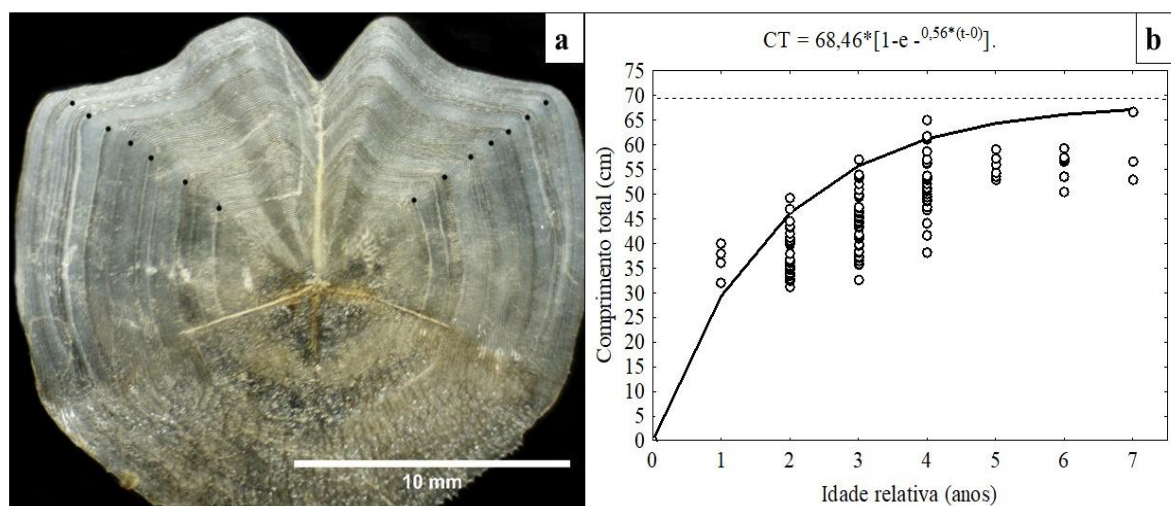
357 **Tabela 3.** Valores estimados da relação peso-comprimento para fêmeas (F♀) e machos (M♂)
 358 de *P. lineatus* para os ambientes amostrados (r^2 = coeficiente de determinação; a = intercepto;
 359 b = coeficiente angular). Letras distintas indicam diferenças significativas do coeficiente
 360 angular (b) entre os ambientes, para cada sexo ($p < 0,05$). *Coeficiente angular (b)
 361 estatisticamente diferente de 3,00.

Ponto	Sexo	Equação $PT = a \cdot CT^b$	r^2	a	b	Crescimento
Jusante	F♀	$PT = 2,18 \cdot CT^{3,24}$	0,93	2,18	*3,24a	Alométrico positivo
Escada	F♀	$PT = 2,07 \cdot CT^{3,15}$	0,95	2,07	*3,15b	Alométrico positivo
Montante	F♀	$PT = 1,80 \cdot CT^{3,04}$	0,83	1,80	3,04c	Isométrico
Jusante	M♂	$PT = 2,53 \cdot CT^{3,46}$	0,82	2,53	*3,46a	Alométrico positivo
Escada	M♂	$PT = 1,20 \cdot CT^{2,62}$	0,93	1,20	*2,62b	Alométrico negativo
Montante	M♂	$PT = 0,55 \cdot CT^{2,25}$	0,70	0,55	*2,25c	Alométrico negativo

362

363 Em relação a idade e crescimento, do total de escamas analisadas ($n = 135$), 95,52%
 364 estavam legíveis para identificação etária. A idade dos machos variou entre 1 a 6 anos, e das
 365 fêmeas entre 1 a 7 anos de idade (Fig. 6a). O comprimento máximo capturado (66,66 cm) esteve
 366 bem próximo do comprimento assintótico ($L_\infty = 68,46$ cm), e a taxa de crescimento (K) foi de
 367 0,56/ano (Fig. 6b).

368

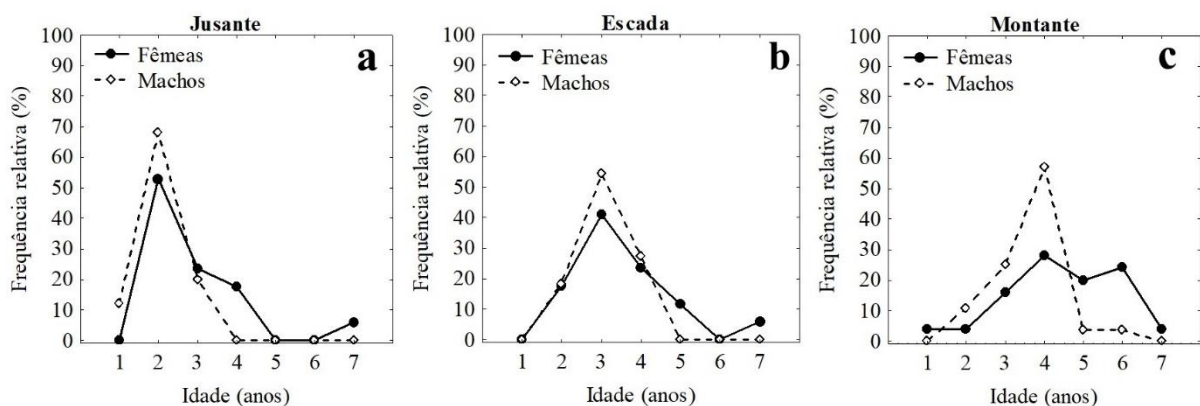


369

370 **Fig. 6.** Escama de uma fêmea de *P. lineatus* de sete anos de idade capturada no reservatório de
 371 Porto Primavera (a), e Curva de crescimento em comprimento de *Von Bertalanffy* para a espécie
 372 na área de estudo (b). Linha tracejada representa o comprimento assintótico (L_∞).

373

374 Fêmeas e machos de *P. lineatus* apresentaram faixa etária distinta entre os ambientes
 375 (F♀ e M♂: $p < 0,001$, respectivamente). O ambiente de montante (Fig. 7c) foi composto por
 376 peixes mais velhos (F♀: $4,44 \pm 1,45$ anos; M♂: $3,64 \pm 0,87$ anos) do que os peixes de jusante
 377 (F♀: $2,88 \pm 1,32$ anos; M♂: $2,08 \pm 0,57$ anos) (♀ e ♂ = $p < 0,001$) (Fig. 7a). Entretanto, os
 378 peixes da escada para peixes (F♀: $3,53 \pm 1,28$ anos; M♂: $3,31 \pm 0,70$ anos) apresentaram idade
 379 similar aos peixes de montante (F♀: $p = 0,72$; M♂: $p = 0,51$). A distribuição de idade entre os
 380 sexos não foi diferente estatisticamente no ambiente de jusante ($D = 0,14$; $p = 0,99$), escada (D
 381 $= 0,28$; $p = 0,91$) e montante ($D = 0,57$; $p = 0,19$) (Fig. 7).
 382



383
 384 **Fig. 7.** Frequência relativa (%) das classes de idade de fêmeas e machos de *P. lineatus* de jusante
 385 (a), escada para peixes (b) e montante (c) da barragem de Porto Primavera.
 386

387 **Discussão**

388 A elevada frequência de indivíduos em repouso no ambiente de jusante e escada para
 389 peixes de Porto Primavera pode ser um indicativo que a maior parte do estoque não conseguiu
 390 ou não teve motivação para completar a migração reprodutiva (Agostinho *et al.*, 1993a-b;
 391 Agostinho *et al.*, 2004). A migração pode ser prejudicada pelas dificuldades dos migradores de
 392 vencer as sucessivas barragens, em tempo adequado para realizar a reprodução (Agostinho *et*
 393 *al.*, 2004; Shmutz e Moog, 2018), ou devido às restrições da escada para peixes na ascensão de
 394 adultos de menores proporções corpóreas (Volpato *et al.*, 2009; Assumpção *et al.*, 2012; Bido
 395 *et al.*, 2018) que caracterizavam o sistema de jusante. Neste último caso, os peixes maiores, que
 396 são capazes de vencer com maior facilidade a correnteza da escada (Assumpção *et al.*, 2012a-
 397 b), podem ter conseguido migrar para locais onde as condições eram mais favoráveis à
 398 reprodução e desova (Abdo *et al.*, 2018), como os tributários do reservatório de Porto Primavera

399 (Da Silva *et al.*, 2015; Da Silva *et al.*, 2019) e nos tributários a jusante da barragem (Agostinho
400 *et al.*, 1993a; Barzotto *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2017). Outra hipótese, é que os peixes que se
401 reproduziram nos tributários a jusante de Porto Primavera (Agostinho *et al.*, 1993a), podem ter
402 migrado posteriormente para as áreas imediatamente abaixo da barragem, os quais
403 permaneceram em estado de repouso, assim como constatado em outros estudos em barragens
404 distintas (Arantes *et al.*, 2010; Domingos *et al.*, 2012; Freitas *et al.*, 2013).

405 As semelhanças da atividade reprodutiva (IAR) de *P. lineatus* entre jusante e montante
406 da barragem, constatada para ambos os sexos, pode ser justificada pelo fato da reprodução da
407 espécie ocorrer em ambos ambientes (Agostinho *et al.*, 1993a; Barzotto *et al.*, 2015; Silva *et al.*
408 *et al.*, 2017; Da Silva *et al.*, 2019). Ademais, Antônio *et al.*, (2007), em um estudo de marcação e
409 recaptura, demonstrou que *P. lineatus*, ao se deparar com a barragem de Porto Primavera em
410 sua rota migratória, é capaz de identificar rotas alternativas em afluentes a jusante, onde podem
411 se reproduzir. Em vista desses fatores, é de suma importância a conservação de afluentes sem
412 barragens, que não possuem regimes hidrológicos ou físico-químicos da água alteradas, que
413 podem ser utilizados como locais alternativos para a reprodução de peixes migradores (Arantes
414 *et al.*, 2010; Domingos *et al.*, 2012). A escada para peixes de Porto Primavera permite passagem
415 ascendente e descendente (Celestino *et al.*, 2019) e com condições não estressoras para *P.*
416 *lineatus* (Bido *et al.*, 2018). Portanto, a ascensão de machos e fêmeas em reprodução, pela
417 escada, pode ter contribuído para as semelhanças na taxa reprodutiva entre jusante e montante.
418 A ausência de atividade reprodutiva em ambientes com barragens intransponíveis já foi
419 verificada para *P. lineatus* (Izyumov e Kas'yanov, 2000) e para *Prochilodus hartii* (Abdo *et al.*,
420 2018), fato que demonstra a importância da escada de Porto Primavera para a manutenção
421 reprodutiva da espécie (Celestino *et al.*, 2019).

422 O aumento concomitante do IAR com o fator de condição das fêmeas de jusante e
423 montante também foi observado por Ramos (2010) e Pazianoto *et al.* (2013) no Alto rio Paraná.
424 Maior fator de condição para os machos de jusante pode estar relacionado a outros fatores que
425 não esteja associado a reprodução, tal como disponibilidade de alimento (Kangur *et al.*, 2003),
426 acúmulo de gordura e reservas energéticas (Gomiero *et al.*, 2010; Pazianoto *et al.*, 2013) e
427 parasitismo (Yamada *et al.*, 2008). O intenso esforço físico e gasto energético para realizar a
428 passagem ascendente pela escada para peixes (Martins, 2000; Volpato, 2009; Bido *et al.*, 2018)
429 pode ter contribuído para o baixo fator de condição para ambos os sexos neste sistema.

430 A variação do regime hidrológico com o regime das chuvas tem importante papel para
431 eventos biológicos de peixes migradores, como a maturação das gônadas, migração, desova,

432 desenvolvimento e crescimento larval (Agostinho *et al.*, 2004). Entretanto, neste estudo
433 verificamos a falta de relação do nível do rio-precipitação, que pode ser explicado pela retenção
434 da água no reservatório (Agência Nacional de águas e Saneamento básico, 2020) e pelos
435 constantes controles da vazão da água pela barragem de Porto Primavera, que interferem no
436 nível do rio a jusante (Gubiani *et al.*, 2007; Okawa, 2010). Essas alterações hidrológicas
437 impactaram severamente as populações de peixes migradores, inclusive *P. lineatus* (Gubiani *et*
438 *al.*, 2007; Costa *et al.*, 2012).

439 De modo geral, percebemos que as alterações ambientais provocadas pelas operações
440 hidrelétricas podem ter prejudicado a percepção dos gatilhos sincronizadores da reprodução da
441 espécie, resultando em diferentes respostas reprodutivas mediante as particularidades
442 ambientais de cada local amostrado, assim como constatado em outros estudos em ambientes
443 próximos de barragens (Arantes *et al.*, 2010; Domingos *et al.*, 2012; Assis, 2014).
444 Naturalmente, a intensidade reprodutiva de *P. lineatus* aumenta com a incidência da
445 precipitação (Barbieri *et al.*, 2000; Vicentin *et al.*, 2012), porém, no presente estudo, isto foi
446 observado apenas para os machos de jusante. A elevação do nível do rio deveria ser um processo
447 favorável para a reprodução de *P. lineatus*, pois geralmente o início da inundação atua como
448 gatilho de desova da espécie (Stassem *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2015; Celestino, 2018), e o
449 pico da inundação marca o fim do período reprodutivo (Vazzoler, 1996; Vicentin *et al.*, 2012).
450 A assincronia da atividade reprodutiva com o nível fluviométrico detectada em alguns
451 ambientes, pode prejudicar o sucesso reprodutivo e a sobrevivência da prole nos primeiros
452 estágios de vida, pois se a desova não ocorrer concomitantemente à elevação do nível do rio,
453 os ovos podem não atingir as áreas inundadas onde tem maior acesso a abrigo, alimentação,
454 oxigenação e menor risco de mortalidade por predação (Agostinho *et al.*, 1993b; Gomes e
455 Agostinho, 1997; Agostinho *et al.*, 2004).

456 É importante ressaltar que desde 2018, o rio Paraná tem sofrido considerável seca devido
457 a redução do nível de chuvas, que se agravou severamente em 2020 (Departamento de economia
458 Rural, 2020). Em períodos de baixo nível do rio, a barragem de Porto Primavera, assim como
459 outras barragens, retém o máximo de água para manter a cota do reservatório suficiente para
460 assegurar suas necessidades operacionais (Agostinho *et al.*, 2004; Gubiani *et al.*, 2007; Baigún
461 *et al.*, 2011), causando ausência de inundações, ou inundações de baixa amplitude ou de curta
462 duração, que pode ter prejudicado a percepção adequada deste gatilho sincronizador
463 reprodutivo (Arantes *et al.*, 2010; Domingos *et al.*, 2012), ou impossibilitar e atrasar a migração
464 de adultos pela escada e para os ambientes de desova (Oliveira *et al.*, 2015; Celestino, 2018), e

465 dificultar a migração de juvenis das lagoas onde sobrevivem a estação seca, para as zonas de
466 transição aquática altamente nutritivas (Welcomme *et al.*, 2006; Stassen *et al.*, 2010). Ademais,
467 os pulsos diários e semanais promovido pelas barragens do alto rio Paraná fora do período
468 reprodutivo (Agostinho *et al.*, 2004), pode confundir e induzir as espécies a migrar e desovar
469 mais cedo, prejudicando o recrutamento (Oliveira *et al.*, 2015). De toda forma, a regulação
470 adequada dos pulsos de água liberados pela barragem durante e fora do período reprodutivo é
471 uma importante medida para reduzir os efeitos na reprodução de peixes (Agostinho *et al.*, 2004;
472 Olden e Naiman, 2010). Além do mais, considerando que a cota do reservatório e de jusante
473 são fatores determinantes para a operação, eficiência e atratividade da escada (Martins, 2000;
474 Wilkes *et al.*, 2018), é importante que haja uma regulação adequada destes níveis, de maneira
475 que aumente a probabilidade de migração reprodutiva de *P. lineatus* (Celestino, 2018) e outros
476 peixes migradores.

477 O ápice reprodutivo das fêmeas de montante e da escada em janeiro coincidiu com o
478 aumento da temperatura e do nível do rio de jusante, mostrando que estes fatores contribuíram
479 para maior atividade reprodutiva da espécie nestes locais, assim como constatado por Agostinho
480 *et al.* (1993a, 2004) no alto rio Paraná. O controle dos regimes de cheias (Gubiani *et al.*, 2007),
481 e as mudanças térmicas a jusante provocada pelas barragens, devido a descarga pelos
482 vertedouros de água mais fria proveniente do reservatório estratificado (temperatura depende
483 da posição vertical da tomada da água do vertedouro) (Ling *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2020;
484 Xiong *et al.*, 2020), pode ter contribuído para assincronia entre atividade reprodutiva das fêmeas
485 com o nível do rio de jusante e temperatura neste ambiente, que conseqüentemente, pode ter
486 retardado o ápice reprodutivo em um mês, sendo registrado em fevereiro neste sistema.
487 Mudanças térmicas a jusante por operações hidrelétricas pode prejudicar o desenvolvimento
488 gonadal, atrasar a desova, e afetar no sucesso da incubação (Arantes *et al.*, 2010; Zhang *et al.*,
489 2019), assim como constatado para o curimba *Prochilodus argenteus* (Arantes *et al.*, 2010;
490 Domingos *et al.*, 2012), para o esturjão *Acipenser sinensis* (Zhang *et al.*, 2019), e salmão
491 *Oncorhynchus keta* (Geist *et al.*, 2008). Regular o regime de temperatura deve ser uma tarefa
492 muito importante para a pesquisa e gestão para desenvolver estratégias que atendam aos
493 requisitos ecológicos em períodos sensíveis como a reprodução (Zhang *et al.*, 2019).

494 O ápice reprodutivo dos machos de *P. lineatus* em novembro em todos os ambientes,
495 sugere antecipação da maturação gonadal em relação as fêmeas. Esta assincronia na reprodução
496 entre os sexos também foi constatada para a mesma espécie por Ramos *et al.*, (2010). Em
497 situações em que as fêmeas amadurecem mais cedo que a média, é uma vantagem reprodutiva

498 que os machos tenham maturação gonadal precoce, para estarem aptos quando as primeiras
499 fêmeas estiverem prontas para a cópula, aumentando suas chances de sucesso durante uma
500 determinada estação reprodutiva (Freitas *et al.*, 2011). A elevada incidência reprodutiva das
501 fêmeas iniciando em dezembro no ambiente de jusante, pode ter induzido a maturação precoce
502 dos machos em novembro no mesmo sistema. Estes machos já maduros de jusante, podem ter
503 migrado pela escada rapidamente como já relatado para a espécie, que leva cerca de 1,5-1,6
504 horas para transpor a escada (Wagner *et al.*, 2012; Celestino *et al.*, 2019), atingindo o
505 reservatório e se deslocado para ambientes favoráveis para a reprodução (Agostinho *et al.*,
506 1993a). Enquanto passavam pela escada e pelo reservatório em novembro, estes podem ter sido
507 capturados para este estudo, justificando a concordância do pico reprodutivo entre jusante,
508 escada e reservatório para os machos.

509 A proporção sexual pode diferir de 1:1 devido às diferenças na taxa de crescimento, taxa
510 de mortalidade, longevidade e migrações para o local de desova (Vazzoler, 1996). Neste estudo,
511 esta proporção de 1:1 foi observada no ambiente de jusante e montante da barragem,
512 corroborando com os resultados de Hardt *et al.*, (2006) e Ramos *et al.*, (2010) em estudos em
513 outros ecossistemas. A predominância de fêmeas sobre os machos (2:1) na escada para peixes,
514 pode estar associado à suas maiores proporções corpóreas (em peso) neste sistema, que pode
515 ter lhe concedido vantagem de permanência na escada, considerando que peixes maiores podem
516 vencer com maior facilidade a vazão imposta pela escada (Volpato *et al.*, 2009; Assumpção *et*
517 *al.*, 2012; Bido *et al.*, 2018). Ademais, é provável que as fêmeas tenham ficado mais suscetíveis
518 a captura na escada, devido ao maior gasto energético do que os machos para investimento das
519 gônadas (Aguiar, 2008; Abdo *et al.*, 2018). O aumento de exemplares fêmeas também pode
520 considerada uma das táticas adotadas pela espécie visando à reposição populacional (Barbieri
521 *et al.*, 2004), uma vez que é recorrente que ocorra uma redução das fêmeas logo após o período
522 reprodutivo em virtude do estresse provocado pelo esforço reprodutivo (Barbieri *et al.*, 2000;
523 Machado e Foresti, 2012) e pela susceptibilidade à pesca (Garcia, 2006; Baigún *et al.*, 2013).

524 Existe uma grande variabilidade de mensurações de peso-comprimento para *P. lineatus*,
525 cujo tipo de crescimento varia entre alométrico negativo, isométrico e alométrico positivo em
526 ambientes distintos (Hardt *et al.*, 2006; Rêgo *et al.*, 2008; Ramos *et al.*, 2010; Vicentin *et al.*,
527 2012; Vegh *et al.*, 2014). O crescimento alométrico positivo das fêmeas de jusante e escada,
528 evidencia maior incremento em peso do que em comprimento, que pode indicar justamente seu
529 grande investimento na reprodução, uma vez que os ovários se desenvolvem de maneira mais
530 acentuada, com uma taxa de crescimento em peso muito superior ao comprimento (Lowe-

531 McConnel, 1999). Em contrapartida, as fêmeas de montante, cuja maioria se encontrava em
532 estágio de repouso ou esgotado, apresentaram incremento em peso acompanhando o
533 crescimento em comprimento (isométrico) (Froese, 2006). O crescimento alométrico positivo
534 dos machos de jusante pode indicar acúmulo de reservas e melhores condições corporais, que
535 é uma importante estratégia para garantir maior sobrevivência à reprodução sob maiores
536 condições ambientais (Garcia, 2006). É importante considerar, que os peixes de jusante,
537 caracterizados como indivíduos mais jovens que os demais ambientes (cerca de 2 anos de
538 idade), possuem crescimento rápido (Lizama, 2000), direcionando os produtos do alimento
539 ingerido para a construção do corpo, e se preparando para a reprodução (Gomiero *et al.*, 2010).
540 O crescimento alométrico negativo dos machos na escada para peixes e no ambiente de
541 montante, que evidenciaram maior incremento em comprimento do que em peso, possivelmente
542 pode indicar outra estratégia comportamental, como a atração sexual (Rêgo *et al.*, 2008).

543 No alto rio Paraná, *P. lineatus* pode atingir a idade máxima de 13 anos (Godoy, 1959),
544 com idade máxima mais comuns entre 7 a 8 anos de idade (Lizama, 2000; Barbieri *et al.*, 2004;
545 Santana, 2014), corroborando com o resultado do presente estudo (7 anos). O comprimento
546 assintótico constatado para *P. lineatus* neste estudo ($L_{\infty} = 68,46$ cm) foi próximo ao encontrado
547 por Santana e Minte-Vera (2017) e superior ao encontrado por Lizama (2000) e Santana (2014)
548 no alto rio Paraná. O maior comprimento registrado neste estudo (66,66 cm) pode ter
549 contribuído para um elevado comprimento assintótico (L_{∞}), uma vez que o L_{∞} é altamente
550 correlacionado com o comprimento dos maiores indivíduos encontrados na amostra (Froese e
551 Binohlan, 2003). A taxa de crescimento encontrado neste estudo (0,56/ano) foi o maior já
552 registrado para a espécie no alto rio Paraná (Lizama, 2000; Barbieri *et al.*, 2004; Santana, 2014;
553 Santana *et al.*, 2017), porém, inferior ao encontrado para a espécie na bacia do Alto rio Paraguai
554 (0,82/ano) (Palmeira *et al.*, 1990; Lizama e Takemoto, 2000). A redução da densidade
555 populacional de *Prochilodus lineatus* em virtude das variações ambientais após a implantação
556 da barragem de Porto Primavera (Gubiani *et al.*, 2007; Costa *et al.*, 2012) e pela sobrepesca,
557 que favorece a remoção seletiva de peixes migradores de maior tamanho (Baigún *et al.*, 2013),
558 pode ter incentivado a espécie a aumentar sua taxa de crescimento como forma de reposição
559 mais rápida de estoque populacional (Barbieri *et al.*, 2004; Baigún *et al.*, 2013).

560 As limitações na ascendência de peixes menores e mais jovens pela escada para peixes
561 de Porto Primavera (Volpato *et al.*, 2009; Assumpção *et al.*, 2012; Bido *et al.*, 2018) pode ser
562 um dos fatores contribuintes para a segregação populacional da estrutura etária (Hauser *et al.*,
563 2018) entre jusante e montante. Entretanto, é importante considerar que sua presença é de

564 extrema importância para a conectividade funcional da espécie (Bido *et al.*, 2018; Celestino *et*
565 *al.*, 2019), e que se ela não estivesse funcionando, diferenças populacionais etárias muito mais
566 complexas entre jusante e montante poderiam ter sido encontradas (Hauser *et al.*, 2018). A
567 elevada concentração de *P. lineatus* de tamanhos menores e mais velhos na planície de
568 inundação a jusante da barragem de Porto Primavera já foi relatada por Santana (2014), que
569 considerou que os peixes maiores e mais velhos preferem o reservatório, especificamente o de
570 Itaipu, localizado a 230 km a jusante de Porto Primavera. A ausência de indivíduos menores
571 que 30 cm e com menos de 1 ano de idade na área de estudo, pode estar relacionado ao fato que
572 estes podem estar ocupando essencialmente as lagoas e canais marginais do rio (Agostinho *et*
573 *al.*, 1993a). De toda forma, a segregação espacial etária e de tamanho de uma espécie migradora
574 pode acarretar em diferenciação genética e nos padrões de crescimento da espécie, caso que já
575 foi relatado para o migrador *Brachyplatystoma rousseauxi* (dourada) (Cavajal-Vallejos *et al.*,
576 2014; Hauser *et al.*, 2018).

577

578 **Considerações finais**

579 As semelhanças nas taxas reprodutivas entre jusante e montante da barragem de Porto
580 Primavera sugere que *P. lineatus* encontra condições favoráveis para sua reprodução em ambos
581 ambientes e/ou que a escada para peixes pode fornecer a conectividade funcional para a espécie
582 entre os sistemas. Entretanto, a sincronização reprodutiva com os estímulos ambientais (nível
583 do rio, precipitação, temperatura) pode ter sido prejudicada pelas operações hidrelétricas. *P.*
584 *lineatus* apresentou diferentes proporções sexuais, tamanhos, tipo de crescimento e composição
585 etária entre montante (reservatório), escada para peixes e jusante da barragem, evidenciando os
586 possíveis efeitos do barramento sobre a estrutura populacional dos peixes migradores. Embora
587 a escada possa ter contribuído para a conectividade reprodutiva entre os sistemas, é possível
588 que ela possa ter restringido a ascensão de peixes com menores proporções corpóreas, que pode
589 ter contribuído para a segregação etária entre jusante e montante. Entretanto, estudos são
590 necessários para avaliar a eficiência da escada na transposição de peixes migradores. É
591 importante que se adote importantes medidas para reduzir os efeitos do barramento na
592 reprodução e estrutura populacional de peixes migradores, tal como conservação dos tributários
593 de fluxo livre que servem como locais alternativos para a reprodução, a regulação adequada da
594 vazão em períodos sensíveis como a reprodução, e adequação das variáveis hidráulicas da
595 escada visando gerar acessibilidade para adultos com perfil morfofisiológico inferior.

596 **Referências**

- 597 Abdo, TF., Marcon, L., Bazzoli, N (2018). Downstream effects of a large reservoir on the
598 reproductive activity of *Prochilodus hartii* (Pisces: Prochilodontidae). *Animal reproduction*
599 *Science*, **190**, 102-107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.01.013>.
- 600 Agência Nacional de água e Saneamento básico (2020). Relatório de segurança de barragens
601 2019. (ANA: Brasília), 131p.
- 602 Agostinho, AA., Gomes, LC., Fernandez, DR., Suzuki, HI (2002). Efficiency of fish ladders
603 for neotropical ichthyofauna. *River Research and applications*, **18** (3), 299–306. doi:
604 <https://doi.org/10.1002/rra.674>.
- 605 Agostinho, AA., Gomes, LC., Pelicice, FM (2007). Ecologia e manejo de recursos pesqueiros
606 em reservatórios do Brasil. (Eduem: Maringá). 501 p.
- 607 Agostinho, AA., Gomes, LC., Veríssimo, S., Okada, EK (2004). Flood regime, dam regulation
608 and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and
609 recruitment. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **14**, 11–19. doi:
610 <https://doi.org/10.1007/s11160-004-3551-y>.
- 611 Agostinho, AA., Mendes, VP., Suzuki, HI., Canzi, C (1993b). Avaliação da atividade
612 reprodutiva da comunidade de peixes dos primeiros quilômetros a jusante do reservatório de
613 Itaipu. *UNIMAR*, **15** (suplemento), 175-189.
- 614 Agostinho, AA., Pelicice, FM., Gomes, LC (2008). Dams and the fish fauna of the Neotropical
615 region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of*
616 *Biology*, **68** (4), 119-1132. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019>.
- 617 Agostinho, AA., Suzuki, HI., Sampaio, AA., Borges, JDR (1991). Índice de atividade
618 reprodutiva: uma proposta para avaliação da atividade reprodutiva em peixes. In 'IX Encontro
619 Brasileiro de Ictiologia. Maringá/PR'. p. 53 (Universidade Estadual de Maringá: Maringá).
- 620 Agostinho, AA., Vazzoler, AEAM., Gomes, LC., Okada, EK (1993a). Estratificación espacial
621 y comportamiento de *Prochilodus scrofa* em distintas fases del ciclo de vida, em la planície de
622 inundación del alto río Paraná y embalse de Itaipu, Paraná, Brasil. *Revue d'Hydrobiologie*
623 *Tropicale*, **26** (1), 79-90.

624 Aguiar, KD (2008). Influência de uma barragem sobre atributos ecológicos da comunidade e
625 biologia reprodutiva de peixes do Rio Paraíba do Sul, UHE Ilha dos Pombos, Rio de Janeiro,
626 Brasil. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná.

627 Antonio, RR., Agostinho, AA., Pelicice, FM., Bailly, D., Okada, EK., Dias, JHP (2007).
628 Blockage of migration routes by dam construction: can migratory fish find alternative routes?.
629 *Neotropical Ichthyology*, **5**(2), 177-184. doi: [https://doi.org/10.1590/S1679-](https://doi.org/10.1590/S1679-62252007000200012)
630 [62252007000200012](https://doi.org/10.1590/S1679-62252007000200012).

631 Arantes, FP., Santos, HB., Rizzo, E., Sato, Y., Bazzoli, N (2010). Profiles of sex steroids,
632 fecundity, and spawning of the curimatã-pacu *Prochilodus argenteus* in the São Francisco
633 River, downstream from the Três Marias Dam, Southeastern Brazil. *Animal Reproduction*
634 *Science*, **118**(2-4), 330-336. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.07.004>.

635 Assis, DAS (2014). Reprodução da espécie nativa *Serrasalmus brandtii* (Lutken 1875) e da
636 introduzida *Metynnis maculatus* (Kner 1858) em resposta à alteração hidrológica no Baixo São
637 Francisco. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe.

638 Assumpção, L., Makrakis, MC., Makrakis, S., Wagner, RL., Da Silva, PS., Lima, AF.,
639 Kashiwaqui, EAL (2012). The use of morphometric analysis to predict the swimming efficiency
640 of two Neotropical long-distance migratory species in fish passage. *Neotropical Ichthyology*,
641 **10**(4), 797-804. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252012000400012>.

642 Auffret, AG., Plue, J., Cousins, SAO (2015). The spatial and temporal components of functional
643 connectivity in fragmented landscapes. *AMBIO*, **44**, 51-59. doi:
644 <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0588-6>.

645 Baigún, C., Minotti, P., Oldani, N (2013). Assessment of sábalo (*Prochilodus lineatus*) fisheries
646 in the lower Paraná River basin (Argentina) based on hydrological, biological, and fishery
647 indicators. *Neotropical Ichthyology*, **11**(1), 199-210. doi: [https://doi.org/10.1590/S1679-](https://doi.org/10.1590/S1679-62252013000100023)
648 [62252013000100023](https://doi.org/10.1590/S1679-62252013000100023).

649 Baigún, C., Oldani, N., Van-Damme, PAV (2011). Represas hidroeléctricas en América Latina
650 y su impacto sobre la ictiofauna. In 'Los peces y delfines de La Amazonía Boliviana:
651 Hábitats, potencialidades y amenazas' (Eds. PA Van-Damme., FM Carvajal-Vallejos., JM
652 Carpio). Pp. 490. (INIA: Cochamba).

653 Baigún, CRM., Nestler, JM., Minotti, P., Oldani, N (2012). Fish passage system in an irrigation
654 dam (Pilcomayo River basin): when engineering designs do not match ecohydraulic criteria.
655 *Neotropical Ichthyology*, **10**(4), 741-750. doi: [http://dx.doi.org/10.1590/S1679-
656 62252012000400007](http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252012000400007).

657 Barbieri, G., Salles, FA., Cestarolli, MA (2000). Influência de fatores abióticos na reprodução
658 do dourado, *Salminus maxillosus* e do curimbatá, *Prochilodus lineatus* do rio Mogi Guaçu
659 (Cachoeira de Emas, Pirassununga/SP). *Acta Limnologica Brasiliensia*, **12**(2), 85- 91.

660 Barbieri, G., Salles, FA., Cestarolli, MA., Teixeira-Filho, AR (2004). Estratégias reprodutivas
661 do dourado, *Salminus maxillosus* e do curimbatá, *Prochilodus lineatus* no Rio Mogi Guaçu,
662 Estado de São Paulo, com ênfase nos parâmetros matemáticos da dinâmica populacional. *Acta
663 Scientiarum. Biological Sciences*, **26**(2), 169-174. doi:
664 <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v26i2.1631>.

665 Barzotto, E., Sanches, PV., Bialecki, A., Orvati, L., Gomes, LC (2015). Larvae of migratory
666 fish (Teleostei: Ostariophysi) in the lotic remnant of the Paraná River in Brazil. *Zoologia*, **32**(4),
667 270-280. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702015000400002>.

668 Bido, AF., Urbinati, EC., Makrakis, MC., Celestino, LF., Mônica, S., Makrakis, S (2018).
669 Stress indicators for *Prochilodus lineatus* (Characiformes: Prochilodontidae) breeders during
670 passage through a fish ladder. *Marine and Freshwater Research*, **69**(12), 1814-1821. doi:
671 <https://doi.org/10.1071/MF18087>.

672 Bond, MJ., e Jones, NE (2015). Spatial distribution of fishes in hydropeaking
673 tributaries of Lake Superior. *River Research and Applications*, **31**(1), 120-133. doi:
674 <https://doi.org/10.1002/rra.2720>.

675 Brasil (1998). Projeto de lei nº 4.630, de 1998. Torna obrigatória a implantação de escadas para
676 peixes em barragens construídas em cursos d'água de domínio da União. Congresso Nacional.
677 Disponível em:
678 https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=28936. [Acesso em
679 09 de dez. 2020].

680 Carvajal-Vallejos, FM., Duponchelle, F., Desmarais, E., Cerqueira, F., Querouil, S., Nuñez, J.,
681 García, C., Renno, JF (2014). Genetic structure in the Amazonian catfish *Brachyplatystoma
682 rousseauxii*: influence of life history strategies. *Genetica*, **142**, 323-336. doi:
683 <https://doi.org/10.1007/s10709-014-9777-2>.

684 Celestino, LF (2018). Migração de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) através de escada
685 para peixes em usina hidrelétrica: gatilhos migratórios e conectividade bidirecional. Tese de
686 doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

687 Celestino, LF., Sanz-Ronda, FJ., Miranda, LE., Makrakis, MC., Dias, JHP., Makrakis, S (2019).
688 Bidirectional connectivity via fish ladders in a large Neotropical river. *River Research and*
689 *applications*, **35** (3), 236–246. doi: <https://doi.org/10.1002/rra.3404>.

690 Clay, CH (1995). ‘Design of Fishways and Other Fish Facilities’. 2º Ed. (Boca Raton: CRC,
691 Press). doi: <https://doi.org/10.1201/9781315141046>.

692 Costa, RS., Okada, EK., Agostinho, AA., Gomes, LC (2012). Variação temporal no rendimento
693 e composição específica da pesca artesanal do Alto Rio Paraná, PR- Brasil: os efeitos crônicos
694 dos barramentos. *Boletim do Instituto de Pesca*, **38**(3), 199-213.

695 Da Silva, LGM., Nogueira, LB., Maia, BP., Resende, LB (2012). Fish passage post-
696 construction issues: analysis of distribution, attraction and passage efficiency metrics at the
697 Baguari Dam fish ladder to approach the problem. *Neotropical Ichthyology*, 10 (4), 751-762.
698 doi: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400008>.

699 Da Silva, PS., Makrakis, MC., Miranda, LE., Makrakis, S., Assumpção, L., Paula, S., Dias, JHP
700 (2015). Importance of Reservoir Tributaries to Spawning of Migratory Fish in the Upper
701 Paraná River. *River Research and Applications*, **31**(3). doi: <https://doi.org/10.1002/rra.2755>.

702 Da Silva, PS., Miranda, LE., Makrakis, S., Assumpção, L., Dias, JHP., Makrakis, MC (2019).
703 Tributaries as biodiversity preserves: An ichthyoplankton perspective from the severely
704 impounded Upper Paraná River. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*,
705 **29**(2), 258-269. doi: <https://doi.org/10.1002/aqc.3037>.

706 Departamento de Economia Rural – DERAL (2020). Estiagem histórica no Paraná. Boletim
707 Informativo. Disponível em:
708 [http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-](http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/estiagem_18_mai_2020.pdf)
709 [05/estiagem_18_mai_2020.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/estiagem_18_mai_2020.pdf). [Acessado em 02 de novembro de 2020].

710 Domingos, FFT., Thomé, RG., Arantes, FP., Castro, ACS., Sato, Y., Bazzoli, N., Rizzo, E
711 (2012). Assessment of spermatogenesis and plasma sex steroids in a seasonal breeding teleost:
712 a comparative study in an area of influence of a tributary, downstream from a hydroelectric

713 power dam, Brazil. *Fish Physiol Biochem*, **38**(6), 1709–1719. doi:
714 <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9668-3>.

715 Espinach-ros, A., e Delfino, R (1993). Situación de las pesquerías de la Cuenca de la Plata en
716 Paraguay, Bolívia, Argentina e Uruguay. *FAO Informaciones de Pesca*, **490**, 36-51.

717 Finch, C., Pine-III, WE., Limburg, KE (2015). Do Hydropeaking Flows Alter Juvenile
718 Fish Growth Rates? A Test with Juvenile Humpback Chub in the Colorado River.
719 *River Research and Applications*, **31** (2), 156-164. doi: <https://doi.org/10.1002/rra.2725>.

720 Freitas, LJA., Prado, PS., Arantes, FP., Santiago, KB., Sato, Y., Bazzoli, N., Rizzo, E (2013).
721 Reproductive biology of the characid dourado *Salminus franciscanus* from the São Francisco
722 River, Brasil. *Animal Reproduction Science*, **139**(1-4), 145-154. doi:
723 <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.03.013>.

724 Freitas, TMS., Almeida, VHC., Montag, LFA., Rocha, RM., Fontoura, NF (2011). Seasonal
725 changes in the gonadosomatic index, allometric condition factor and sex ratio of an
726 auchenipterid catfish from eastern Amazonia. *Neotropical Ichthyology*, **9**(4), 839-847. doi:
727 <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252011005000044>.

728 Froese, R (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-
729 analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, **22**(4), 241-253. doi:
730 <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>.

731 Froese, R., Binohlan, C (2003). Simple methods to obtain preliminary growth estimates for
732 fishes. *Journal of Applied Ichthyology*, **19**(6), 376-379. doi: [https://doi.org/10.1111/j.1439-](https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2003.00490.x)
733 [0426.2003.00490.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2003.00490.x).

734 Garcia, ICB (2006). Influência da pesca seletiva sobre os comprimentos médio de maturação
735 em populações de dourado (*Salminus brasilienses*), piraputanga (*Brycon hilarii*) e curimatá
736 (*Prochilodus lineatus*) no Rio Miranda, Mato Grosso do Sul. Dissertação de mestrado,
737 Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

738 Gayanilo, FC., e Pauly, D (1997). ‘FAO-ICLARM stock assessment tool (FISAT), reference
739 manual’. *FAO computerized information series* (Fisheries), 8 (FAO: Rome). 196 p.

740 Geist, DR., Arntzen, EV., Murray, CJ., McGrath, KE., Bott, YJ., Hanrahan, TP (2008).
741 Influence of River Level on Temperature and Hydraulic Gradients in Chum and Fall Chinook

742 Salmon Spawning Areas Downstream of Bonneville Dam, Columbia River. *North American*
743 *Journal of Fisheries Management*, **28**(1), 30–41. doi: <https://doi.org/10.1577/M07-009.1>.

744 Godoy, MP (1959). A Age, growth, sexual maturity, behavior, migration, tagging and
745 transplanted of curimbatá (*Prochilodus scrofa* STEINDACHNER, 1881) of Mogi Guassu
746 river, São Paulo State, Brasil. *Anais da academia Brasileira de Ciências*, **31**, 447-477.

747 Godoy, MP (1962). Marcação, migração e transplantação de peixes marcados na bacia do rio
748 Paraná superior. *Arquivos do museu Nacional*, **52**, 105-113.

749 Gomes, LC., e Agostinho, AA (1997). Influence of the flooding regime on the nutritional state
750 and juvenile recruitment of the curimba, *Prochilodus scrofa*, Steindachner, in upper Parana
751 River, Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, **4**(4), 263–274. doi:
752 <https://doi.org/10.1046/j.1365-2400.1997.00119.x>.

753 Gomiero, LM., Villares-Junior, GA., Braga, FMS (2010). Relação peso-comprimento e fator
754 de condição de *Oligosarcus hepsetus* (Cuvier, 1829) no Parque Estadual da Serra do Mar -
755 Núcleo Santa Virgínia, Mata Atlântica, estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica*, **10**(1),
756 101-105. doi: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000100009>.

757 Gubiani, EA., Gomes, LC., Agostinho, AA., Okada, EK (2007). Persistence of fish populations
758 in the upper Paraná River: effects of water regulation by dams. *Ecology of Freshwater Fish*,
759 **16**(2), 191–197. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2006.00211.x>.

760 Gutfreund, A., Makrakis, S., Castro-Santos, T., Celestino, LF., Dias, JHP., Makrakis, MC
761 (2018). Effectiveness of a fish ladder for two Neotropical migratory species in the Paraná River.
762 *Marine and Freshwater Research*, **69** (12), 1848-1856. doi: <https://doi.org/10.1071/MF18129>.

763 Hahn, NS., e Fugi, R (2007). Alimentação de peixes em reservatórios brasileiros: alterações e
764 consequências nos estágios iniciais do represamento. *Oecologia Brasiliensis*, **11**(4), 469-480.

765 Hardt, E., Peret, AC., Pereira-Silva, EFL (2006). Estrutura populacional do curimbatá
766 (*Prochilodus lineatus* Steindachner, 1881) em dois ambientes da Estação Ecológica de Jataí. In
767 ‘Estudos integrados em ecossistemas’ (Eds JE Dos Santos., LE Moschini., JSR Pires) pp. 313-
768 323 (EDUFSCAR: São Carlos).

769 Hauser, CRC., Melo, LRC., Santos, AR., Ayla, DM., Nogueira, LD., Amadio, S., Fabré, N.,
770 Torrent-Vilara, G., García-Vásquez, A., Carvajal-Vallejos, FM., Alonso, JC., Nuñez, J.,
771 Duponchelle, F (2018). Age and growth of the Amazonian migratory catfish *Brachyplatystoma*

772 *rousseauxii* in the Madeira River basin before the construction of dams. *Neotropical*
773 *Ichthyology*, **16**(1), 17130[1]-17130[13]. doi: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170130>.

774 Izyumov, YG., Kas'yanov, NA (2000). Intraspecific Structure and Morphological Variation of
775 *Prochilodus lineatus*, (Characoidei, Curimatidae) in the Rio Pilcomayo Basin (South America).
776 *Journal of Ichthyology*, **40**(6), 415–424.

777 Jones, N (2013). Spatial patterns of benthic invertebrates in regulated and natural
778 rivers. *River. Research and Applications*, **29**(3), 343-351. doi: <https://doi.org/10.1002/rra.1601>.

779 Jorcin, A., Nogueira, MG., Belmont, R (2009). Spatial and temporal distribution of the
780 zoobenthos community during the filling up period of Porto Primavera Reservoir (Paraná River,
781 Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, **69**(1), 19-29. doi: [https://doi.org/10.1590/S1519-](https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000100003)
782 [69842009000100003](https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000100003).

783 Junho, RAC (2008). Migrações ascendentes de peixes neotropicais e hidrelétricas: proteção a
784 jusante de turbinas e vertedouros e sistemas de transposição. Tese de doutorado, Universidade
785 de São Paulo.

786 Kangur, P., Kangur, A., Kangur, K., Möls, T (2003). Condition and growth of ruffe
787 *Gymnocephalus cernuus* (L.) in two large shallow lakes with different fish fauna and food
788 recourse. *Hydrobiologia*, **506**, 435-441. doi:
789 <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008573.64863.e5>.

790 Korman, J., e Campana, SE (2009). Effects of hydropeaking on nearshore habitat use
791 and growth of age-0 rainbow trout in a large regulated river. *Revista Transactions*
792 *of the American Fisheries Society*, **138**, (1), 76-87. doi: <https://doi.org/10.1577/T08-026.1>.

793 Laevastu, T (1980). 'Manual de métodos de biologia pesquera'. 1ª Edição. (Editorial Acribia:
794 Zaragoza España).

795 Larinier, M (2002). Fisways: General considerations. In 'Fishways: Biological basis, design
796 criteria and monitoring'. (Eds. M. Larinier, F. Travade, J. P. Porcher). Bulletin Français de la
797 Pêche et de la Pisciculture, pp. 21-27. (Conseil Supérieur de la Pêche: Paris, France).

798 Ling, F., Foody, GM., Du, H., Ban, X., Li, X., Zhang, Y., Du, Y (2017). Monitoring Thermal
799 Pollution in Rivers Downstream of Dams with Landsat ETM+ Thermal Infrared Images.
800 *Remote sensing*, **9**(11), 1-16. doi: <https://doi.org/10.3390/rs9111175>.

801 Lizama, MLAP (2000). Estimativa dos parâmetros de crescimento, recrutamento e mortalidade
802 de *Prochilodus lineatus* da Planície de inundação do Alto rio Paraná, Brasil. *Boletim do Instituto*
803 *de Pesca*, **26**(2), 121-128.

804 Lizama, MLAP., Takemoto, RM (2000). Relação entre o padrão de crescimento em peixes e as
805 diferentes categorias tróficas: uma hipótese a ser testada. *Acta Scientiarum, Biological*
806 *Sciences*, **22**(2), 455-463. doi: <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v22i0.2896>.

807 Lowe-McConnell, RH (1999). 'Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais'.
808 (Editora da Universidade de São Paulo: São Paulo).

809 Lucas, MC., Baras, E (2001). 'Migration of Freshwater Fishes.' (Wiley Online Library: Oxford,
810 UK). doi: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470999653>.

811 Machado, MRF., e Foresti, F (2012). Morphometric characteristics of *Prochilodus lineatus*
812 (Valenciennes 1847), of the migratory and resident stocks of the river Mogí-Guaçu, São Paulo
813 State, Brazil. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, **34**(4), 341-346. doi:
814 <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v34i4.14445>.

815 Makrakis, MC., Miranda, LE., Makrakis, S., Fontes-Júnior, HM., Morlis, WG., Dias, JHP.,
816 Garcia, JO (2012). Diversity in migratory patterns among Neotropical fishes in a highly
817 regulated river basin. *Journal of Biology*, **81**, 866-881. doi: [https://doi.org/10.1111/j.1095-](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03346.x)
818 [8649.2012.03346.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03346.x).

819 Makrakis, S., Bertão, APS., Da Silva, JFM., Makrakis, MC., Sanz-Ronda, FJ., Celestino, LF
820 (2019). Hydropower Development and Fishways: A Need for Connectivity in Rivers of the
821 Upper Paraná Basin. *Sustainability*, **11**, 1-24. doi: <https://doi.org/10.3390/su11133749>.

822 Makrakis, S., Makrakis, MC., Wagner, RL., Dias, JHP., Gomes, LC (2007). Utilization of the
823 fish ladder at the Engenheiro Sergio Motta Dam, Brazil, by long distance migrating
824 potamodromous species. *Neotropical Ichthyology*, **5**(2), 197-204. doi:
825 <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252007000200014>.

826 Martins, SL (2000). Sistemas para a transposição de peixes. Dissertação de mestrado, Escola
827 Politécnica da Universidade de São Paulo.

828 Minas Gerais (Estado) (1997). Lei nº 12.488 de 09 de abril de 1997. Torna obrigatória a
829 construção de escada para peixes de piracema em barragem edificada no Estado. Disponível em:

830 [http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Lei-ordinaria-12488-1997-Minas-](http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Lei-ordinaria-12488-1997-Minas-gerais-MG.pdf)
831 [gerais-MG.pdf](http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Lei-ordinaria-12488-1997-Minas-gerais-MG.pdf). [Acessado em: 09 de dez. 2020].

832 Moreau, J (1987). Mathematical and biological expression of growth in fishes: recent trends
833 and further developments. In 'The age and growth of fish'. (RC, Summerfelt., e GE, Hall), pp.
834 81-113. (Iowa State University Press: Iowa).

835 Okawa, C (2010). Caracterização do regime de fluxos a jusante da Usina Hidrelétrica Porto
836 Primavera no Rio Paraná: Estação Porto São José. *Revista Tecnológica*, **19**(1), 67-74. doi:
837 <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v19i1.9059>.

838 Olden, JD., Naiman, RJ (2010). Incorporating thermal regimes into environmental flows
839 assessments: modifyng dam operations to restore freshwaer ecosystem integrity. *Freshwater*
840 *Biology*, **55**(1), 86-107. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02179.x>.

841 Oliveira, AG., Suzuki, HI., Gomes, LC., Agostinho, AA (2015). Interspecific variation in
842 migratory fish recrutamente in the Upper Paraná River: effects of the duration and timing of
843 floods. *Environmental Biology of Fishes*, **98**, 1327-1337. doi: [https://doi.org/10.1007/s10641-](https://doi.org/10.1007/s10641-014-0361-5)
844 [014-0361-5](https://doi.org/10.1007/s10641-014-0361-5).

845 Palmeira, SS., Resende, EK., Nascimento, FL (1990). Determinação das curvas de crescimento
846 para o curimatá (*Prochilodus lineatus*) no pantanal do Miranda, Aquidavana -MS. In
847 'Congresso Brasileiro de Zoologia, Londrina, 1990'. p. 261. (SBZ: Londrina).

848 Paraná (Estado) (2007). Lei ordinária nº 15.446, de 15 de janeiro de 2007. Torna obrigatória a
849 construção de canais apropriados para facilitar a piracema nos reservatórios das usinas
850 geradoras de eletricidade de propriedade do governo do Estado do Paraná. Disponível em:
851 <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=143557>. [Acesso em 09 de dez. 2020].

852 Pazianoto, LHR., Souza, MLS., Veronezzi, AL., Evanilde, B (2013). Influência do ambiente
853 no conteúdo calórico e na condição fisiológica de duas espécies migradoras de peixes
854 neotropicais. *Iheringia (Série zoologia)*, **103**(3), 206-213. doi: [https://doi.org/10.1590/S0073-](https://doi.org/10.1590/S0073-47212013000300001)
855 [47212013000300001](https://doi.org/10.1590/S0073-47212013000300001).

856 Pelicice, FM., e Agostinho, AA (2008). Fish-passage facilities as ecological traps in Large
857 Neotropical rivers, *Conservation Biology*, **22**(1), 180-188. doi: [https://doi.org/10.1111/j.1523-](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00849.x)
858 [1739.2007.00849.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00849.x).

859 Perônico, PB., Aostinho, CS., Fernandes, R., Pelicice, FM (2020). Community reassembly after
860 river regulation: rapid loss of fish diversity and the emergence of a new state. *Hydrobiologia*,
861 847, 519-533. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04117-9>.

862 Ramos, RO., Peret, AC., Ramos, SM., Melo, JSC (2010). Parâmetros reprodutivos do curimbatá
863 no rio Mogi-Guaçu. *Revista Ceres*, **57**(4), 520-525.

864 Rêgo, ACL., Pinese, OP., Magalhães, PA., Pinese, JF (2008). Relação peso-comprimento para
865 *Prochilodus lineatus* (Valenciennes,1836) e *Leporinus friderici* (Bloch,1794) (Characiformes)
866 no reservatório de Nova Ponte – EPDA de Galheiro, rio Araguari, MG. *Revista Brasileira de*
867 *Zoociências*, **10**(1), 13-21.

868 Reynalte-Tataje, DA., Agostinho, AA., Bialezki, A (2013). Temporal and spatial distributions
869 of the fish larval assemblages of the Ivinheima River sub-basin (Brazil). *Environmental Biology*
870 *of Fishes*, **96**, 811–822. doi: <https://doi.org/10.1007/s10641-012-0073-7>.

871 Ricker, WE (1973). Linear regression in fishery research. *Journal of Fisheries Research Board*
872 *of Canada*, **30**(3), 409-434. doi: <https://doi.org/10.1139/f73-072>.

873 Santana, HS (2014). Uso da abordagem de modelos integrados para avaliar a dinâmica
874 populacional do curimba *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1836) no alto rio Paraná, Brasil.
875 Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Maringá.

876 Santana, HS., e Minte-Vera, VC (2017). Age and growth of *Prochilodus lineatus* in a spatially
877 structured population: is there concordance between otoliths and scales? *Environmental*
878 *Biology of Fishes*, **100**, 223-235. doi: <https://doi.org/10.1007/s10641-017-0574-5>.

879 São Paulo (Estado) (1997). Lei nº 9.798, de 07 de outubro de 1997. Dispõe sobre a construção de
880 escadas para peixes em barragens edificadas em cursos d'água de domínio do Estado. Diário oficial do
881 Estado de São Paulo, 107 (191).

882 Schmutz, M., Moog, O (2018). Dams: Ecological Impacts and Management. In ‘Reverine
883 Ecosystem Management’. (Eds. M. Schmutz e J. Sendzimir.) Aquatic Ecology series, **08**, pp.
884 111-127. (Springer: Cham). doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_6.

885 Shibatta, OA., e Dias, JHP (2006). ‘40 peixes do Brasil: CESP 40 anos’. (Editora dois: Rio de
886 Janeiro). 208pg.

- 887 Silva, JC., Rosa, RR., Galdioli, EM., Soares, CM., Domingues, WM., Veríssimo, S., Bialecki,
888 A (2017). Importance of dam-free stretches for fish reproduction: the last remnant in the Upper
889 Paraná River. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **29**. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X10216>.
- 891 Silva, JMA., Murgas, LDS., Felizardo, VO., Pereira, GJM., Navarro, RD., Mello, RA (2009).
892 Características seminais e índices reprodutivos de curimba (*Prochilodus lineatus*) em diferentes
893 períodos reprodutivos. *Revista Brasileira de saúde e produção animal*, **10**(3), 668-677.
- 894 Stassen, MJM., Ven, MWPMV., Heide, TVD., Hiza, MAG., Velde, GVD., Smolders, AJP
895 (2010). Population dynamics of the migratory fish *Prochilodus lineatus* in a neotropical river:
896 the relationships with river discharge, flood pulse, El Niño and fluvial megafan behaviour.
897 *Neotropical ichthyology*, **8**(1), 113-122. doi: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252010005000006>.
- 899 Vazzoler, AEAM (1981). 'Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes.
900 Reprodução e crescimento'. (CNPq, Programa Nacional de Zoologia: Brasília). 106p.
- 901 Vazzoler, AEAM (1996). 'Biologia de reprodução de peixes Teleósteos: Teoria
902 e Prática'. (EDUEM: Maringá). 169p.
- 903 Vegh, AL., Lozano, IE., Dománico, AA (2014). Length–weight, length–length relationships
904 and length at first maturity of fish species from the Paraná a and Uruguay rivers, Argentina.
905 *Journal of Applied Ichthyology*, **30**(3), 555–557. doi: <https://doi.org/10.1111/jai.12408>.
- 906 Vicentin, W., Rocha, AS., Rondon, PL., Costa, FES., Suárez, YR (2012). Parâmetros
907 populacionais, período reprodutivo e crescimento de *Prochilodus lineatus*
908 (CHARACIFORMES, PROCHILODONTIDAE) na cabeceira do Rio Miranda, Alto Paraguai.
909 *Oecologia Australis*, **16**(4), 891-904. doi: <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2012.1604.12>.
- 910 Volpato, GL., Barreto, RE., Marcondes, AL., Moreira, PSA., Ferreira, MFB (2009). Fish
911 ladders select fish traits on migration–still a growing problem for natural fish populations.
912 *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, **42**(5), 307-313. doi:
913 <https://doi.org/10.1080/10236240903299177>.
- 914 Wagner, RL., Makrakis, S., Castro-Santos, T., Makrakis, MC., Dias, JHP., Belmont, RF (2012).
915 Passage performance of long-distance upstream migrants at a large dam on the Paraná River

916 and the compounding effects of entry and ascent. *Neotropical Ichthyology*, **10**(4), 785-795. doi:
917 <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400011>.

918 Welcomme, RL., Béné, C., Brown, C., Arthington, AH., Dugan, PJ., King, J., Sugunan (2006).
919 Predicting the water requirements of river fisheries. In 'Wetlands and Natural Resource
920 Management' (eds JTA Verhoeven., B Beltman., R Bobbink., DF Whighan) pp. 123-154.
921 (Springer: Berlim). doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-33187-2>.

922 Winemiller, KO., McIntyre, PB., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S.,
923 Baird, IG., Darwall, W., Lujan, NK., Harrison, I., Stiassny, MLJ., Silvano, RAM., Fitzgerald,
924 DB., Pelicice, FM., Agostinho, AA., Gomes, LC., Albert, J.S., Baran, E., Petrere, M., Zarfl, C.,
925 Mulligan, M., Sullivan, JP., Arantes, CC., Sousa, LM., Koning, AA., Hoeninghaus, DJ., Sabaj
926 Pérez, MH., Lundberg, JG., Armbruster, J., Thieme, ML., Petry, P., Zuanon, J., Torrente Vilara,
927 G., Snoeks, J., Ou, C., Rainboth, W., Pavanelli, CS., Akama, A., Van Soesbergen, A., Sáenz,
928 L. (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong.
929 *Science*, 351, 128–129.

930 Wilkes, MA., Mckenzie, M., Webb, JÁ (2018). Fish passage design for sustainable hydropower
931 in the temperate Southern Hemisphere: an evidence review. *Reviews in Fish Biology and*
932 *Fisheries*, **28**, 117-135. doi: <https://doi.org/10.1007/s11160-017-9496-8>.

933 Xiong, YJ., Yin, J., U, KTP., Zhao, SH., Qiu, GY., Zhiyoung, L (2020). How the three Gorges
934 Dam affects the hydrological cycle in the mid-lower Yangtze River: a perspective based on
935 decadal water temperature changes. *Environmental Research Letters*, **15**(1), 1-9. doi:
936 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5d9a>.

937 Yamada, FH., Takemoto, RM., Pavanelli, GC (2008). Relação entre fator de condição relativo
938 (Kn) e abundância de ectoparasitos de brânquias, em duas espécies de ciclídeos da bacia do rio
939 Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, **30**(2), 213-207. doi:
940 <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v30i2.3625>.

941 Zarfl, C., Lumsdon, AE., Berlekamp, J., Tydecks, L., Tockner, K (2015). A global boom in
942 hydropower dam construction. *Aquatic Sciences* **77**, 161–170. doi:
943 <https://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0>.

944 Zhang, H., Kang, M., Wu, J., Wang, C., Li, J., Du, H., Yang, H., Wei, Q (2019). Increasing
945 River Temperature Shifts Impact the Yangtze Ecosystem: Evidence from the Endangered
946 Chinese Sturgeon. *Animals (Basel)*. **9**(8), 1-16. doi: <https://doi.org/10.3390/ani9080583>.

947 Zhao, J., Li, H., Cai, X., Chen, F., Wang, A., Yu, D., Li, C (2020). Long-term (2002–2017)
948 impacts of Danjiangkou dam on thermal regimes of downstream Han River (China) using
949 Landsat thermal infrared imagery. *Journal of Hydrology*, **589**, 125135. doi:
950 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125135>.

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967 **Capítulo II: Ecologia trófica de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) no trecho de**
968 **jusante, escada para peixes e reservatório da UHE de Porto Primavera, Alto rio Paraná,**
969 **Brasil**

970

971

RESUMO

972 As barragens hidrelétricas afetam negativamente a ecologia trófica de peixes em diversos
973 aspectos, uma vez que a formação do reservatório, a interrupção do fluxo natural do rio e as
974 modificações dos regimes de cheias interferem na disponibilidade de recursos alimentares.
975 Apesar das escadas para peixes permitirem movimentos migratórios de peixes, muitas questões
976 acerca do comportamento trófico de espécies migradoras e o papel da escada na dieta de peixes
977 ainda não foram sanadas. Este trabalho teve como objetivo comparar a ecologia trófica de
978 *Prochilodus lineatus* entre jusante, escada para peixes e reservatório da UHE de Porto
979 Primavera. A amostragem foi realizada no período reprodutivo (piracema). Foi analisado a
980 intensidade alimentar e a dieta da espécie entre estes ambientes. Houve distinção da dieta da
981 espécie entre jusante e escada para peixes. Enquanto *P. lineatus* consumiu abundantemente
982 sedimento-detrito, detrito vegetal e algas a jusante da barragem, a menor contribuição destes
983 itens foi verificado na dieta na escada para peixes, uma vez que o revestimento de concreto e a
984 forte correnteza deste sistema, pode ter limitado a disponibilidade e tempo de permanência
985 destes recursos. Em contrapartida, *P. lineatus* se beneficiou da abundância de *Limnoperma*
986 *fortunei* na escada, consumindo amplamente este recurso neste sistema.

987 **Palavras-Chave:** dieta de peixes, escada para peixes, peixes migradores.

988

989

990 **Trophic ecology of *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) on the downstream stretch,**
991 **fish ladder and reservoir of the Porto Primavera HPP, Upper Paraná River, Brazil**

992

ABSTRACT

993 Hydroelectric dams negatively affect the trophic ecology of fish in several aspects, since the
994 formation of the reservoir, the interruption of the natural flow of the river and changes in flood
995 regimes interfere with the availability of food resources. Although fish ladders allow migratory
996 movements of fish, many questions about the trophic behavior of migratory species and the role
997 of ladders in the diet of fish have not yet been addressed. This work aimed to compare the
998 trophic ecology of *Prochilodus lineatus* between downstream, fish ladder and reservoir of the
999 Porto Primavera HPP. Sampling was carried out in the reproductive period (piracema). The
1000 food intensity and the diet of the species between these environments were analyzed. There was
1001 a distinction of the species' diet between downstream and fish ladder. While *P. lineatus*
1002 abundantly consumed sediment-debris, vegetable debris and algae downstream of the dam, the
1003 minor contribution of these items was found in the diet on the fish ladder, since the concrete
1004 coating and the strong current of this system, may have limited the availability and length of
1005 stay of these resources. In contrast, *P. lineatus* benefited from the abundance of *Limnoperma*
1006 *fortunei* on the stairs, consuming this resource widely in this system.

1007 **Keywords:** fish diet, fish ladder, migratory fish.

1008

1009 **INTRODUÇÃO**

1010 O Brasil possui grande disponibilidade hídrica com potencial energético (Souza et al.,
1011 2018), fatores que contribuíram para a posição de um dos maiores construtores de barragens
1012 hidrelétricas do mundo (EPE, 2020). Estes barramentos interrompem o fluxo natural do rio,
1013 promovendo diversas alterações físicas, químicas e biológicas no ambiente aquático (Agostinho
1014 et al., 2007; Medeiros et al., 2014; Shmutz & Moog, 2018). Consequentemente, a reprodução
1015 (Agostinho et al., 2004), os movimentos migratórios (Agostinho et al., 2007; Dos Santos, 2018)
1016 e a alimentação natural (Casemiro et al., 2005; Gandini et al., 2012; Grazotti et al., 2018) de
1017 peixes são severamente afetados.

1018 A ecologia trófica de peixes é afetada negativamente em diversos aspectos. Com a
1019 formação dos reservatórios, os peixes podem substituir itens alimentares escassos por outros
1020 abundantes, visando aumentar suas chances de sobrevivências frente a nova condição ambiental
1021 (Hahn & Fugi, 2007; Delariva et al., 2013). Além disso, a interrupção do fluxo natural de
1022 matéria orgânica pelo barramento (Bond & Jones, 2015; Shmutz & Moog, 2018) e as
1023 modificações dos regimes das cheias pelas operações hidrelétricas (Gubiani et al., 2007),
1024 influenciam diretamente na disponibilidade e composição dos recursos alimentares (Hahn &
1025 Fugi, 2007; Agostinho et al., 2008). Portanto, diversos estudos relatam variação da dieta de
1026 peixes entre reservatórios e jusante de barragens (Balassa et al., 2004; Silva & Hahn, 2009;
1027 Delariva et al., 2013).

1028 Em virtude da intensificação das construções de usinas hidrelétricas no Brasil (Oliveira,
1029 2018), e dos impactos gerados pelo bloqueio do barramento sobre a migração de peixes
1030 (Agostinho et al., 2004), várias medidas legislativas foram tomadas exigindo a implantação de
1031 sistemas de transposição de peixes em barramentos (Minas Gerais, 1997; São Paulo, 1997;
1032 Brasil, 1998; Paraná, 2007), visando restaurar conexões entre habitats de reprodução,
1033 alimentação e desenvolvimento de peixes migradores (Lucas e Baras, 2001). Estes mecanismos
1034 estão concentrados, sobretudo, na Bacia do rio Paraná (Lira et al., 2017; Makrakis et al., 2019),
1035 considerada a mais regulada por barragens na América do Sul (Zarfl et al., 2015), onde estima-
1036 se que 9% das barragens possuem sistemas de transposição, que em sua maioria são escadas
1037 para peixes (Makrakis et al., 2019). Vários estudos foram realizados com intuito de monitorar
1038 os movimentos migratórios de peixes nesses sistemas (Bizzoto, 2006; Gutfreund et al., 2018;
1039 Celestino et al., 2019). Entretanto, muitas questões acerca do comportamento de peixes
1040 migradores, no uso da escada, ainda não foram sanadas, especificamente quanto ao seu papel
1041 na dieta de peixes, considerando que estes sistemas são artificiais, com condições estruturais e

1042 ambientais particulares (Martins, 2000; Larinier, 2002), muito distintos do reservatório e do
1043 sistema de jusante.

1044 O curimba *Prochilodus lineatus* (= *Prochilodus scrofa*) é uma espécie de grande porte
1045 (Castro & Vari, 2004) de considerável importância econômica (Costa et al., 2012), que realiza
1046 extensas migrações reprodutivas rumo ao Alto rio Paraná (Agostinho et al., 1993, Makrakis et
1047 al., 2012). Por possuir hábito alimentar iliófago (Fugi et al., 1996), exerce importante função
1048 no fluxo de energia e ciclagem de nutrientes no ecossistema aquático (Bowe, 1983). No Alto
1049 rio Paraná, esta espécie consegue ter acesso a escada para peixes da Usina hidrelétrica de Porto
1050 Primavera (Engenheiro Sergio Motta) (Makrakis et al., 2007), e há registros de movimentos
1051 ascendentes e descendentes por este sistema (Celestino et al., 2019). Entretanto, o
1052 comportamento alimentar das espécies que transitam a escada, inclusive aquelas residentes, não
1053 é conhecido. Inclusive o caráter efêmero da passagem deve dificultar o entendimento desse
1054 comportamento. Além disso, amostrando a jusante, na escada, e no reservatório, teremos
1055 indicação de que a dieta da espécie pode ser distinta na escada. Para responder essa questão,
1056 esse trabalho teve como objetivo comparar a ecologia trófica do potamódromo *Prochilodus*
1057 *lineatus* entre o trecho de jusante, escada para peixes e reservatório da UHE de Porto Primavera,
1058 visando verificar diferenças espaciais da alimentação e no uso de recursos alimentares.

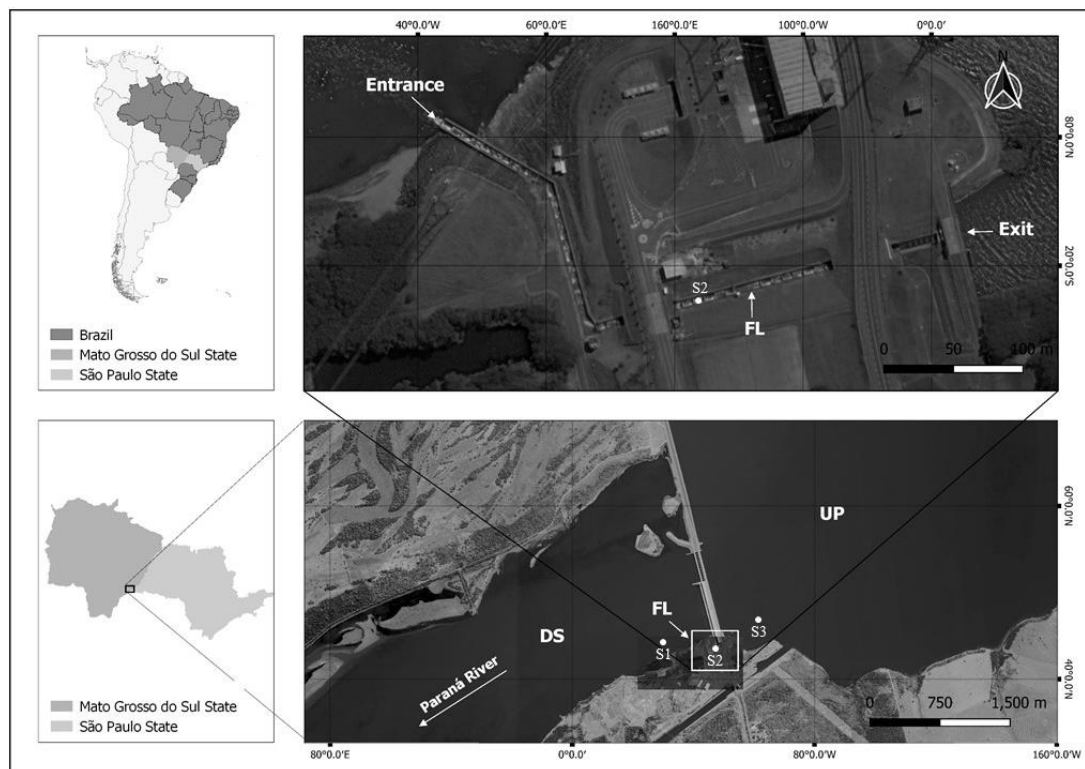
1059 MATERIAL E MÉTODOS

1060 Área de estudo

1061 A Usina hidrelétrica de Porto Primavera (Engenheiro Sergio Motta), localiza-se no Alto
1062 rio Paraná, entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (Figura 1). Seu reservatório, do
1063 tipo fio d'água, possui 2.250 km², com um volume de água acumulada de 20 milhões de m³
1064 (Jorcin et al., 2009). A barragem possui 13 km de largura, 22 m de altura (Makrakis et al., 2007)
1065 e 16 vertedouros de superfície (Shibatta & Dias, 2006).

1066 Uma escada para peixes (Figura 1), do tipo degraus tanques com orifícios, foi construída
1067 no lado esquerdo da barragem (Makrakis et al., 2007), permitindo o acesso de diversos peixes
1068 migradores ao reservatório (Makrakis et al., 2007; Wagner et al., 2012; Gutfreund et al., 2018;
1069 Celestino et al., 2019). A escada possui 472,5 m de comprimento, 5,0 m de largura e 8,0 m de
1070 comprimento, e 2,0 m de profundidade, e é composta por 50 tanques delimitados por defletores,
1071 com três orifícios inferiores de 0,80 x 0,80 m e três vertedouros com a mesma medida (Celestino
1072 et al., 2019). Do total de tanques, três funcionam como áreas de descanso, portanto, são mais

1073 longos que os demais (T11: 16 m; T22: 24,6m; T36: 18,0m) (Makrakis et al., 2007; Bido et al.,
 1074 2018).



1075
 1076 **Figura 1.** Localização da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera no Alto Rio Paraná, Brasil, e
 1077 locais de amostragens: Jusante – DS (S1), escada para peixes – FL (S2) e reservatório – UP (S3).

1078

1079 **Coleta e análise de dados**

1080 A amostragem foi realizada nos meses de novembro e dezembro de 2018, e janeiro,
 1081 fevereiro, março e novembro de 2019 (período reprodutivo). Os peixes foram coletados com
 1082 tarrafas (malhas 12, 13, e 14 entre nós adjacentes, e 12 m de diâmetro) em três ambientes:
 1083 jusante (S1), escada para peixes (S2) e reservatório (S3) da UHE de Porto Primavera (Figura 1;
 1084 Tabela 1). Após a captura, os exemplares foram eutanasiados em solução de benzocaína com
 1085 concentração de 100 mg/litro.

1086

1087 **Tabela 1.** Caracterização dos ambientes de amostragens entorno da UHE de Porto Primavera.

Descrição dos locais de amostragem	
Jusante (S1)	Sistema lóxico. Profundidade aproximada de 6 m. Fundo rochoso, composto por depósitos de cascalho, e substrato de areia de granulometria média a grossa (Stevaux et al., 2009). Pouca vegetação marginal.
Escada para peixes (S2)	Sistema de correnteza, com vazão variando de 3,0 - 3,5 m ³ s ⁻¹ (Celestino, 2018). Mecanismo totalmente revestido de concreto com profundidade de 2 m (Gutfreund et al., 2018). Não possui vegetação de entorno. Mexilhões

	dourados (<i>Limnoperma fortunei</i>) encontram-se amplamente distribuídos no fundo e nas laterais da escada.
Reservatório (S3)	Sistema lêntico. Profundidade aproximada de 15 m. Fundo rochoso, com sedimento composto de areia fina, silte e argila (Jorcin et al., 2009). Pouca vegetação marginal.

1088

1089 **Análise da ecologia trófica**

1090 Em laboratório, foi registrado os valores de comprimento total (CT) e peso total (PT)
 1091 dos indivíduos. Um total de 126 estômagos foram retirados (jusante: 45; escada: 28;
 1092 reservatório: 53) e pesados (g). Estes foram classificados de acordo com o grau de repleção
 1093 estomacal (GR) de Santos (1978): 0 = estômago vazio; 1 = parcialmente vazio (até 25%); 2 =
 1094 parcialmente cheio (até 75%) e 3 = completamente cheio (acima de 75%). Em seguida, os
 1095 estômagos foram transferidos para frascos etiquetados, contendo álcool 70%. Considerando que
 1096 as amostragens foram realizadas no período reprodutivo, e que a maturação gonadal interfere
 1097 na intensidade alimentar do curimba (Araújo et al., 2003), a gônadas foram retiradas, pesadas
 1098 e classificadas conforme os estágios de Vazzoler (1996), com o objetivo de utilizar a Relação
 1099 gonadossomática (RGS) (Vazzoler, 1996) para complementar a análise de intensidade
 1100 alimentar entre os ambientes.

1101 Apenas os estômagos com alimento (excluindo-se os estômagos vazios) foram
 1102 considerados para análise da dieta. Portanto, 97 estômagos foram analisados (jusante: 43;
 1103 escada: 20; reservatório: 34). Os itens alimentares foram identificados no menor nível
 1104 taxonômico possível, em microscópios ópticos e estereoscópicos, utilizando-se chaves de
 1105 identificação especializada. Em virtude da difícil separação de detritos de matéria orgânica de
 1106 origem indeterminada com o sedimento (areia, lodo), estes foram enquadrados como
 1107 sedimento-detritos. Todos os itens foram quantificados pelo método de frequência volumétrica
 1108 de Hyslop (1980). Os volumes dos itens foram obtidos pela compressão do material com lâmina
 1109 de vidro sobre placa milimetrada até a altura de 1 mm (Hellowell & Abel, 1971), sendo o
 1110 resultado convertido em mililitros ($1 \text{ mm}^3 = 0,001 \text{ mL}$). A porcentagem estimada do volume
 1111 de algas e outros itens menores ($< 0,01 \text{ mL}$) em relação ao volume total do conteúdo estomacal
 1112 (Hyslop, 1980), foi obtida com o auxílio do método de contagem numérica de Aranha (1993).
 1113 A frequência de ocorrência (%Fi) de Hynes (1950) e Hyslop (1980), o volume percentual
 1114 (%Vol) e o índice de importância alimentar (IAi) de Kawakami & Vazzoler (1980) foi calculado
 1115 para todos os itens alimentares.

1116

1117 Análise estatística

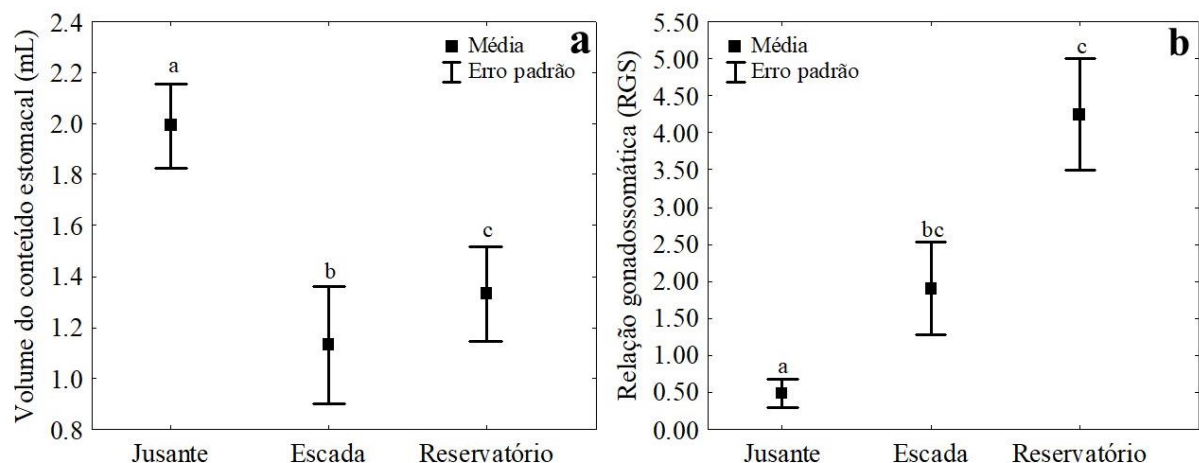
1118 Para verificar diferenças na intensidade alimentar (volume estomacal) e relação
1119 gonadossomática (RGS) entre o ambiente de jusante, escada para peixes e reservatório, foi
1120 aplicado o teste de Kruskal-Wallis. Visando verificar possíveis diferenças na dieta de *P.*
1121 *lineatus* entre os ambientes amostrados, uma análise de variância permutacional
1122 (PERMANOVA de um fator, Índice de Bray-Curtis) com 9999 permutações foi aplicada à
1123 matriz de volume das categorias alimentares (agrupou-se os itens das categorias). Para isso, os
1124 valores de volume foram transformados em raiz quadrada, para reduzir a assimetria e atender a
1125 premissa de homogeneidade. Uma análise de Escalonamento multidimensional não-métrico
1126 (NMDS) foi utilizada para complementar a PERMANOVA. A análise de porcentagem de
1127 similaridade (SIMPER) foi utilizada para detectar as categorias alimentares responsáveis pelos
1128 padrões observados pela PERMANOVA, quando esta for significativa. A análise
1129 PERMANOVA e SIMPER foram calculadas usando o software PAST 4.0, e o teste de Kruskal-
1130 Wallis foi realizada usando o software STATISTICA 7.0 (StatSoft).

1131

1132 RESULTADOS

1133 O curimba *Prochilodus lineatus* apresentou diferenças na atividade alimentar ($p < 0,01$;
1134 Figura 2a) e relação gonadossomática ($p < 0,01$; Figura 2b) entre os ambientes, uma vez que os
1135 peixes de jusante, que apresentaram menor relação gonadossomática, evidenciaram maior
1136 intensidade alimentar do que os peixes do reservatório, estes com maior relação
1137 gonadossomática (Figura 2a; Figura 2b). Menor intensidade alimentar foi registrada na escada
1138 para peixes (Figura 2a).

1139



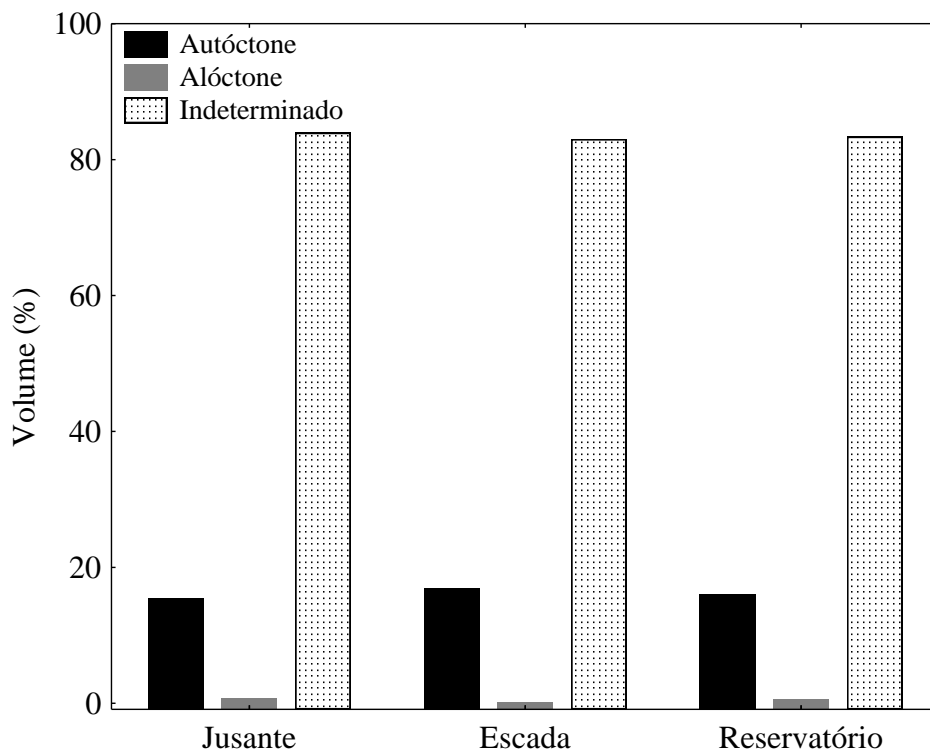
1140

1141 **Figura 2.** Intensidade alimentar, representado pelo volume total do conteúdo estomacal (a), e
1142 Relação gonadossomática (b) de *Prochilodus lineatus* entre o ambiente de jusante, escada para
1143 peixes e reservatório de Porto Primavera. Letras distintas indicam diferenças significativas (p
1144 $< 0,05$).
1145

1146 A dieta de *P. lineatus* foi composta por 62 itens alimentares, que foram distribuídos em
1147 12 categorias alimentares (Tabela 2). A espécie consumiu maiores proporções de recursos
1148 autóctones do que alóctones em todos os ambientes (Figura 3). Sedimento-detrito e detrito
1149 vegetal foram os principais recursos consumidos pela espécie (em % Vol; %Fi e %IAi) em todos
1150 os ambientes (Tabela 2). Entretanto, as algas da família Zygnemataceae e Gomphonemataceae
1151 foram prevalentes na dieta da espécie no ambiente de jusante e reservatório (% Vol. %Fi; %IAi),
1152 enquanto *Limnoperma fortunei* jovem (Mexilhão dourado) e larvas de Chironomidae
1153 contribuíram consideravelmente na dieta dos peixes da escada para peixes (em % Vol. %Fi;
1154 %IAi) (Tabela 2).

1155

1156 **Figura 3.** Frequência volumétrica (%) dos recursos de origens autóctone, alóctone e
1157 indeterminado, consumidos por *Prochilodus lineatus* no ambiente de jusante, escada para
1158 peixes, e reservatório da UHE de Porto Primavera.



1159

1160

1161 **Tabela 2.** Contribuição em volume (%Vol), frequência de ocorrência (%Fi) e importância
1162 alimentar (%IAi) dos itens alimentares consumidos por *Prochilodus lineatus* no ambiente de
1163 jusante, escada para peixes e reservatório da UHE de Porto Primavera, e classificação quanto

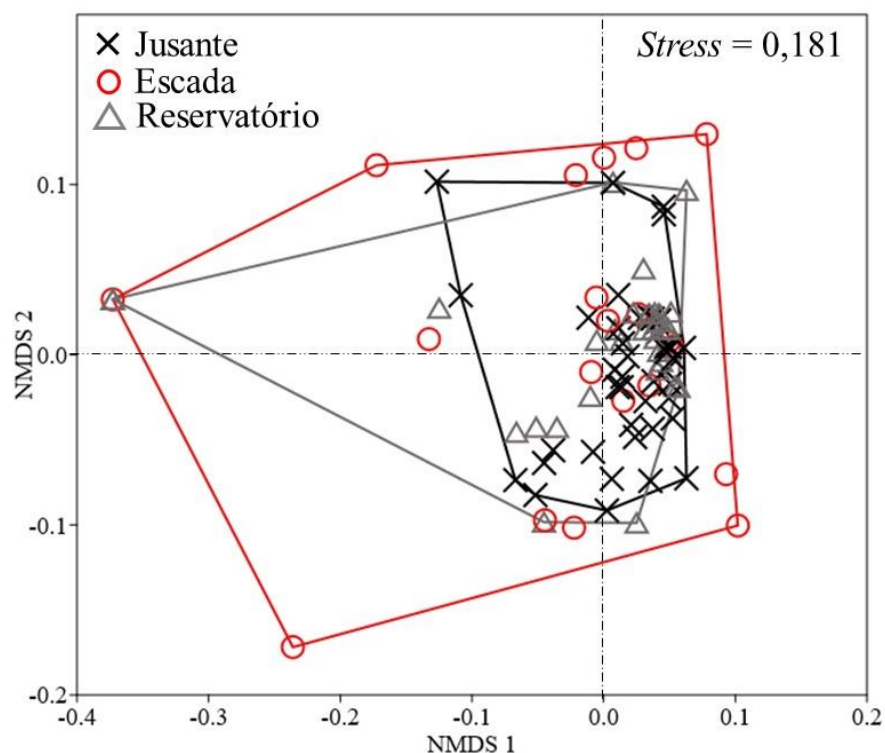
1164 sua origem (Au: autóctone; Al: alóctone; In: indeterminado). CT= comprimento total mínimo
 1165 e máximo dos peixes.

Itens alimentares	Origem	Jusante CT: 30,20-52,90			Escada para peixes CT: 37,20-66,66			Reservatório CT: 39,90-58,70		
		%Vol	%Fi	%Iai	%Vol	%Fi	%IAi	%Vol	%Fi	%IAi
I. BIVALVES										
<i>Limnoperma fortunei</i> larva	AU	0,03	0,54	<0,01	0,03	0,77	<0,01	0,27	1,76	0,05
<i>Limnoperma fortunei</i> jovem	AU	1,63	6,52	1,05	5,41	10,0	5,22	0,81	6,45	0,62
<i>Limnoperma fortunei</i> adulto	AU	-	-	-	1,11	1,54	0,17	-	-	-
Fragmento de bivalves	AU	0,71	2,99	0,21	0,05	0,77	<0,01	1,78	6,73	1,44
II. GASTRÓPODES										
Lymnaeidae jovem	AU	0,02	0,82	<0,01	0,03	2,31	<0,01	0,03	1,76	<0,01
Planorbidae jovem	AU	-	-	-	-	-	-	0,02	1,17	<0,01
Physidae jovem	AU	0,07	1,63	0,01	-	-	-	0,06	2,35	0,01
Hydrobiidae jovem	AU	0,04	1,09	<0,01	0,02	0,77	<0,01	0,13	2,05	0,03
III. INSETOS										
Chironomidae larva	AU	0,07	1,63	0,01	3,28	9,78	3,43	0,12	1,47	0,02
Chironomidae pupa	AU	0,01	0,82	<0,01	0,73	3,08	0,23	0,02	0,88	<0,01
Empididae pupa	AU	-	-	-	0,04	1,54	<0,01	-	-	-
Culicidae pupa	AU	-	-	-	-	-	-	0,01	0,29	<0,01
Ephemeroptera larva	AU	<0,01	0,27	<0,01	-	-	-	-	-	-
Ephemeroptera pupa	AU	-	-	-	-	-	-	0,01	0,29	<0,01
Hydropsychidae larva	AU	-	-	-	0,03	0,77	<0,01	-	-	-
Tricoptera larva	AU	-	-	-	0,03	0,77	<0,01	0,01	0,29	<0,01
Coccinellidae adulto	AL	-	-	-	-	-	-	0,07	0,29	<0,01
Coleóptero larva	AU	-	-	-	0,36	2,31	0,08	-	-	-
Ovo de inseto	IN	<0,01	0,27	<0,01	-	-	-	-	-	-
Detrito de inseto	IN	<0,01	0,27	<0,01	2,04	2,31	0,49	0,06	0,29	<0,01
IV. VEGETAIS										
Fruto/semente terrestre	AL	0,47	2,99	0,14	0,14	1,54	0,02	0,58	3,52	0,24
Folhas terrestre	AL	0,06	0,82	<0,01	-	-	-	-	-	-
Raízes aquática	AU	0,44	2,17	0,09	1,06	2,31	0,25	0,61	2,35	0,17
Detrito de vegetal	IN	20,03	10,60	21,41	30,01	10,7	33,82	34,44	8,80	36,46
V. CLADÓCERAS										
Daphniidae	AU	0,02	0,27	<0,01	-	-	-	0,07	0,88	<0,01
Moinidae	AU	0,04	0,27	<0,01	-	-	-	0,06	0,29	<0,01
Sididae	AU	-	-	-	0,02	0,77	<0,01	0,03	0,29	<0,01
Bosminidae	AU	0,03	0,27	<0,01	-	-	-	0,12	0,88	0,01
VI. ROTÍFEROS										
Lecanidae	AU	0,54	2,45	0,13	0,03	0,77	<0,01	0,27	2,05	0,06
VII. COPÉPODES										
Cyclopoida	AU	-	-	-	-	-	-	0,03	0,29	<0,01
Calanoida	AU	<0,01	0,27	<0,01	-	-	-	-	-	-
VIII. NEMATÓDEOS										
Nematóide (adulto)	AU	0,21	0,54	0,01	0,02	0,77	<0,01	0,02	0,29	<0,01
IX. PEIXES										
Escamas	AU	0,06	0,82	<0,01	0,05	0,77	<0,01	0,28	0,59	0,01
Ovos	AU	-	-	-	-	-	-	0,06	0,29	<0,01
X. ALGAS										
Bacillariophyceae										
Gomphonemataceae	AU	2,30	9,24	2,11	1,44	7,69	1,16	2,00	6,74	1,62
Cymbellaceae	AU	-	-	-	-	-	-	0,17	0,29	<0,01
Mediophyceae										
Biddulphiaceae	AU	-	-	-	0,25	0,77	0,02	-	-	-
Zygnematophyceae										
Zygnemataceae	AU	3,33	9,51	3,15	1,32	8,46	1,16	2,64	7,62	2,42
Mesotaeniaceae	AU	0,36	0,27	<0,01	-	-	-	0,11	0,59	<0,01
Desmidiaceae	AU	0,49	4,08	0,19	-	-	-	0,54	3,23	0,21
Cyanophyceae										

Oscillatoriaceae	AU	1,11	5,98	0,66	0,41	5,38	0,23	0,85	5,57	0,57
Nostocaceae	AU	0,05	0,54	<0,01	0,01	0,77	<0,01	0,01	0,29	<0,01
Synechococcaceae	AU	0,02	0,27	<0,01	0,08	0,77	<0,01	-	-	-
Pseudanabaenaceae	AU	0,40	1,90	0,07	-	-	-	0,30	0,59	0,02
Oocystaceae	AU	0,02	0,27	<0,01	-	-	-	-	-	-
Merismopediaceae	AU	-	-	-	-	-	-	0,02	0,29	<0,01
Choococcaceae	AU	1,22	5,43	0,66	0,52	3,85	0,20	1,68	5,57	1,12
Dermocarpellaceae	AU	0,02	0,27	<0,01	-	-	-	-	-	-
Chlorophyceae										
Oedogoniaceae	AU	1,22	5,98	0,72	0,18	3,08	0,05	1,11	6,16	0,82
Hydrodictyceae	AU	0,19	1,63	0,03	0,06	1,54	0,01	0,56	2,64	0,17
Florideophyceae										
Batrachospermaceae	AU	-	-	-	-	-	-	0,25	0,59	0,01
Acrochaetiaceae	AU	0,13	0,54	<0,01	0,27	1,54	0,04	0,26	1,17	0,03
Xantophyceae										
Tribonemataceae	AU	0,33	0,82	0,02	-	-	-	0,49	1,76	0,10
Rhizochloridaceae	AU	0,03	0,27	<0,01	-	-	-	-	-	-
Chrysophyceae										
Chromulinaceae	AU	0,01	0,27	<0,01	-	-	-	-	-	-
Euglenophyceae										
Phacaceae	AU	0,01	0,27	<0,01	-	-	-	-	-	-
Euglenaceae	AU	0,03	0,27	<0,01	-	-	-	-	-	-
Ulvophyceae										
Dichotomosiphonaceae	AU	0,11	1,36	0,01	0,04	0,77	<0,01	-	-	-
Trebouxiophyceae										
Koliellaceae	AU	-	-	-	-	-	-	0,07	0,59	<0,01
Fagilariophyceae										
Fragilariaceae	AU	-	-	-	0,01	0,77	<0,01	-	-	-
XI. SEDIMENTO-DETRITO										
Sedimento-detrimento	IN	63,75	10,87	69,12	50,97	10,0	53,30	49,01	9,09	53,63
XII. MICROPLÁSTICO										
Microplástico	AL	0,12	1,63	0,01	0,01	0,77	<0,01	0,01	0,59	<0,01
		100	100	100	100	100	100	100	100	100

1166 A PERMANOVA indicou diferenças significativas na dieta de *P. lineatus* entre os
1167 ambientes (*Pseudo* - $F = 2,94$; $p = < 0,01$). O teste a posteriori (“pair-wise test”) revelou que
1168 a composição da dieta dos indivíduos de jusante foi distinta da dieta dos peixes da escada para
1169 peixes (*Pseudo* - $F = 4,90$; $p = < 0,01$) (Figura 4), e que os peixes do reservatório apresentaram
1170 dieta similar aos peixes de jusante (*Pseudo* - $F = 1,71$; $p = 0,12$) e da escada para peixes (*Pseudo*
1171 - $F = 2,19$; $p = 0,05$) (Figura 4).

1172 **Figura 4.** Análise de Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) da dieta de
1173 *Prochilodus lineatus* do ambiente de jusante, escada para peixes e reservatório da UHE de Porto
1174 Primavera.



1175

1176

1177 Foi calculada uma diferença de 55,30% (SIMPER) na dieta de *P. lineatus* entre jusante
 1178 e escada para peixes. As categorias alimentares que contribuíram para essa diferenciação foram:
 1179 sedimento, vegetais, algas, bivalves e insetos (Tabela 3). As três primeiras categorias foram
 1180 intensamente consumidas no ambiente de jusante, e as duas últimas obtiveram maior
 1181 representatividade na dieta dos peixes da escada (Tabela 3).

1182

1183 **Tabela 3.** Análise de dissimilaridade (SIMPER) referente a contribuição dos itens consumidos
 1184 por *Prochilodus lineatus* no ambiente de jusante, escada para peixes e reservatório da UHE de
 1185 Porto Primavera.

Categorias alimentares	Dissimilaridade média	Contribuição %	Cumulativa %	Média jusante	Média escada
Sedimento-detrito	19,53	35,35	35,35	1,04	0,674
Vegetais	12,93	23,40	58,75	0,539	0,523
Algas	8,46	15,32	74,07	0,438	0,188
Bivalves	5,08	9,20	83,27	0,142	0,194
Insetos	4,61	8,35	91,62	0,0151	0,21

1186

1187 DISCUSSÃO

1188 No período reprodutivo, indivíduos de *P. lineatus* com gônadas em desenvolvimento
 1189 geralmente se concentram a jusante de Porto Primavera (Agostinho et al., 1993; Volpato et al.,

1190 2009). Portanto, é possível que a maior atividade alimentar de *P. lineatus* de jusante, seja uma
1191 estratégia de alocação de reservas, para maior sobrevivência aos movimentos migratórios por
1192 longo tempo e distâncias (Rios et al., 2011). Resultado semelhante foi verificado por Araújo et
1193 al. (2003), que observou que o ápice da alimentação de *Prochilodus cearensis*, ocorreu quando
1194 as gônadas estavam em desenvolvimento. Em contrapartida, os níveis mais baixos de repleção
1195 estomacal foi registrado quando o curimba apresenta maior maturação gonadal (Araújo et al.,
1196 2003), justificando a menor intensidade alimentar no reservatório, considerando que os peixes
1197 deste ambiente também apresentaram alta relação gonadosomática.

1198 A privação alimentar durante o processo de migração reprodutiva de *P. lineatus* é um
1199 processo abordado em diversos estudos (Godoy, 1967; 1975), considerando que esta espécie
1200 pode tolerar até quatro semanas sem se alimentar, sem que haja lesões para sua saúde, utilizando
1201 neste período, reservas endógenas (reservas do fígado e gordura perivisceral) para manter seu
1202 metabolismo (Rios et al., 2011). Durante a migração, os peixes experimentam uma combinação
1203 de extremos fisiológicos e exercícios intensos (Wooton, 1990), que resultam em privação
1204 alimentar (Wooton, 1990; Godoy, 1967; 1975). Portanto, a baixa atividade alimentar de *P.*
1205 *lineatus* na escada para peixes verificada neste estudo, pode estar associado ao intenso exercício
1206 e extremos fisiológicos que a espécie enfrenta ao realizar a passagem por este sistema (Bido et
1207 al., 2018). Entretanto, é importante considerar que *P. lineatus*, por ser um peixe de ótima
1208 capacidade natatória (Assumpção et al., 2012a; 2012b) e com tempo de passagem rápida pela
1209 escada para peixes de Porto Primavera (1,5-1,6 h) (Wagner et al., 2012; Celestino et al., 2019),
1210 possa não ter tido tempo suficiente para se alimentar neste sistema.

1211 As diferenças nas taxas de consumo de sedimento-detrito e detritos vegetais entre
1212 jusante e escada para peixes pode estar associado a diversos fatores. Por apresentar hábito
1213 alimentar iliófago, é evidente que *P. lineatus* consuma grandes proporções de sedimento-detrito
1214 (Fugi et al., 1996), enriquecidos em matéria orgânica, que incluem detritos de plantas, algas e
1215 microrganismos (Smoot & Findlay, 2010a; 2010b). Devido ao baixo valor nutricional e a difícil
1216 assimilação, a ingestão deste item é contínuo e em grandes volumes (Wooton, 1990; Fugi et al.,
1217 2001). Portanto, a elevada intensidade alimentar à jusante da barragem, pode ter contribuído
1218 para o maior consumo de sedimento-detrito neste ambiente. Conseqüentemente, maior
1219 consumo de sedimento-detrito pode ter contribuído para a alta proporção de detrito vegetal
1220 (principal representante da categoria vegetal) na dieta dos peixes de jusante, uma vez que
1221 detritos vegetais estão constantemente contidos no sedimento (Smoot & Findlay, 2010a;
1222 2010b). Em contrapartida, o menor consumo de destes itens na escada para peixes pode estar

1223 associado a baixa disponibilidade destes recursos neste sistema, devido o revestimento de
1224 concreto e da elevada correnteza da escada (Gutfreund et al., 2018; Celestino et al., 2019),
1225 fatores que dificultam a deposição de sedimentos no fundo (Leandro et al., 2014).

1226 Os pequenos dentes labiais de *P. lineatus* auxiliam na raspagem do perifíton do substrato
1227 (Fugi et al., 2001), como as algas filamentosas da família Zygnemataceae e as diatomáceas da
1228 família Gomphonemataceae (Almeida et al., 1993; Resende et al., 1995; Moraes et al., 1997),
1229 principais representantes da categoria das algas neste estudo, que foram amplamente
1230 consumidas pela espécie no ambiente de jusante e reservatório. Estas algas perifíticas possuem
1231 vasta distribuição em ambientes lênticos (Cetto et al., 2004; Azevedo et al., 2018) e lóticos
1232 (Aprile & Mera, 2007; Osório et al., 2017). Entretanto, a baixa contribuição das algas
1233 (agrupadas) na dieta de *P. lineatus* da escada pode estar associado a seu baixo tempo de
1234 permanência neste sistema, uma vez que estes organismos são facilmente carregados pela forte
1235 correnteza (Krupek & Branco, 2014) da escada de Porto Primavera (Wagner et al., 2012;
1236 Celestino et al., 2019).

1237 É possível que na tentativa de se alimentar no substrato da escada, a espécie acabou
1238 consumindo grandes proporções de bivalves, especificamente o mexilhão-dourado
1239 (*Limnoperna fortunei*), que estão amplamente distribuídos no fundo e nas laterais da escada de
1240 Porto Primavera (observação pessoal). A fácil adaptação de *L. fortunei* aos diferentes ambientes
1241 aquáticos (Mansur et al., 2008; Barbosa & Melo, 2009; Duchini et al., 2015) permitiu sua
1242 propagação no rio Paraná, inclusive na área de entorno de Porto Primavera (Oliveira et al.,
1243 2004; Da Silva, 2017). Por ser um recurso abundante, muitas espécies com grande plasticidade
1244 trófica (Garcia & Protogino, 2005) se alimentam facilmente deste item, como o armado
1245 *Pterodoras granulosus* (Vermulm-Junior & Giamas, 2008) e o pacu *Piaractus mesopotamicus*
1246 (Godoy et al., 2018), ambos peixes migradores da bacia do rio Paraná (Makrakis et al., 2019).
1247 *P. lineatus* em sua fase larval, se beneficia da abundância de larvas planctônicas de *L. fortunei*
1248 para se alimentar (Paolucci et al., 2007; Rossi, 2008; Paolucci et al., 2010a; Paolucci &
1249 Thuesen, 2015), demonstrando maior preferência alimentar por esse item do que cladóceros e
1250 copépodes (Paolucci et al., 2007; 2010a), e obtendo maiores taxas de crescimento mediante ao
1251 consumo deste recurso (Paolucci et al., 2010b). Entretanto, os adultos de *P. lineatus* não
1252 demonstram muito interesse alimentar por *L. fortunei* adulto (Godoy et al., 2018), uma vez que
1253 neste estudo, a espécie apresentou preferências alimentares por *L. fortunei* na fase semente do
1254 que em sua fase adulta. Este resultado pode estar associado aos dentes pequenos e rudimentares
1255 de *P. lineatus* (Moraes et al., 1997; Fugi et al., 2001), que podem ter dificultado a retenção e a

1256 mastigação de alimentos rígidos (Fugi et al., 2001), como as conchas de *L. fortunei* adulto,
1257 constituída de carbonato de cálcio (Nakamura-Filho et al., 2014), dificultando a absorção dos
1258 nutrientes contidos neste animal (Godoy et al., 2018). Além disso, é importante considerar, que
1259 em ambientes de correnteza, geralmente encontra-se indivíduos menores de *L. fortunei*, uma
1260 vez que estes tendem em investir maior energia no processo de fixação e menor energia no
1261 crescimento (Mansur et al., 2008).

1262 A elevada contribuição de insetos na dieta de *P. lineatus* está associado ao intenso
1263 consumo de larvas de Chironomidae (Diptera) neste ambiente, principal representante desta
1264 categoria alimentar. Geralmente os Chironomidae não são adaptados a hábitats com forte
1265 correnteza, por dificuldades de fixação nos substratos (Leite, 2010). Entretanto, em ambientes
1266 com correnteza, estes insetos podem ser encontrados em áreas onde a velocidade da água é
1267 menor (zonas de depósito) (Ashe et al., 1987; Sanseverino & Nessimian, 2008).

1268 Os recursos autóctones são as principais fontes de energia para *P. lineatus*, uma vez que
1269 no rio Paraná, esta espécie prefere consumir itens com alto teor de carbono e nutrientes, como
1270 o fitoplâncton e perifíton (Lopes et al., 2007; Benedito et al., 2018). Entretanto, a redução da
1271 disponibilidade de recursos alóctones no ambiente, que é verificado após anos de represamento
1272 (Pereira et al., 2004; Ribeiro et al., 2014), com a degradação da mata ciliar em reservatórios
1273 (Hahn & Fugi, 2007; Ribeiro et al., 2014) e com a redução dos pulsos de cheias pelas barragens
1274 (Abujanra, 2007), pode forçar os peixes a explorarem maior quantidade de recursos autóctones
1275 (Smith et al., 2003).

1276 **Considerações finais**

1277 O presente estudo demonstrou que, apesar das semelhanças da dieta de *P. lineatus* entre
1278 jusante e reservatório, a dieta na escada foi distinta da dieta da espécie no ambiente de jusante,
1279 demonstrando que a espécie, apesar de ser iliófaga, demonstrou oportunismo e plasticidade
1280 tráfica, tomando vantagem dos recursos em todos os tipos de ambientes. Enquanto *P. lineatus*
1281 consumiu abundantemente sedimento-detrito, detrito vegetal e algas a jusante da barragem,
1282 menor contribuição destes itens foi verificado na dieta na escada para peixes, uma vez que o
1283 revestimento de concreto e a forte correnteza deste sistema, pode ter limitado a disponibilidade
1284 e tempo de permanência destes recursos. Em contrapartida, *P. lineatus* se beneficiou da
1285 abundância do mexilhão dourado (*Limnoperma fortunei*) na escada para peixe de Porto
1286 Primavera, consumindo amplamente este recurso neste sistema.

1287

1288 **REFERÊNCIAS**

- 1289 Abujanra, F. (2007). *Influências do controle de nível e transparência da água impostas pela*
1290 *formação do reservatório de Porto Primavera sobre peixes de diferentes categorias tróficas do*
1291 *alto rio Paraná* (Tese de doutorado). Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR.
- 1292 Agostinho, AA., Gomes, LC., Pelicice, FM (2007). Ecologia e manejo de recursos pesqueiros
1293 em reservatórios do Brasil. Maringá: EDUEM.
- 1294 Agostinho, AA., Gomes, LC., Veríssimo, S., Okada, EK. (2004). Flood regime, dam regulation
1295 and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and
1296 recruitment. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14, 11–19.
1297 <https://doi.org/10.1007/s11160-004-3551-y>.
- 1298 Agostinho, AA., Vazzoler, AEAM., Gomes, LC., Okada, EK (1993). Estratificación espacial y
1299 comportamiento de *Prochilodus scrofa* em distintas fases del ciclo de vida, em la planície de
1300 inundación del alto río Paraná y embalse de Itaipu, Paraná, Brasil. *Revue d'Hydrobiologie*
1301 *Tropicale*, 26 (1), 79-90.
- 1302 Agostinho, KDGL., Agostinho, AA., Gomes, LC., Júlio-Jr, HF. (2008). Influence of flood
1303 pulses on diet composition and trophic relationships among piscivorous fish in the upper Paraná
1304 River floodplain. *Hydrobiologia*, 607, 187 –198. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9390-4>.
- 1305 Almeida, VLL., Resende, EK., Lima, MS., Ferreira, CJA. (1993). Dieta e atividade alimentar
1306 de *Prochilodus lineatus* (Characiformes, prochilodontidae) no Pantanal do Miranda-
1307 Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Revista Unimar, Maringá*, 15, 125-141.
- 1308 Aprile, FM., Mera, PAS. (2007). Fitoplâncton e fitoperifíton de um rio de águas pretas da
1309 Amazônia periférica do Norte, Brasil. *Aquatic Science and Technology*, 11(2), 1-14.
1310 <https://doi.org/10.14210/bjast.v11n2.p1-14>.
- 1311 Araújo, SA., Gurgel, HCB., Nascimento, RSS. (2003). Indicadores do desenvolvimento
1312 gonadal e nutricional de *Prochilodus cearensis* (Steindachner, 1911) (Characiformes,
1313 Prochilodontidae) no açude Itans/Caicó, Rio Grande do Norte, Brasil. *Acta Scientiarum*
1314 *Biological Sciences*, 25 (2), 377–384. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v25i2.2027>.
- 1315 Ashe, P., Murray, D. A.; Reiss, F. (1987). The zoogeographical distribution of Chironomidae
1316 (Insecta: Diptera). *Anns. Limnol*, 23(1), 27-60.
- 1317 Assumpção, L., Makrakis, MC., Makrakis, S., Wagner, RL., Da Silva, PS., Lima, AF.,
1318 Kashiwaqui, EAL. (2012a). The use of morphometric analysis to predict the swimming
1319 efficiency of two Neotropical long-distance migratory species in fish passage. *Neotropical*
1320 *Ichthyology*, 10(4), 797-804. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252012000400012>.
- 1321 Assumpção, L., Makrakis, MC., Makrakis, S., Piana, AP., Da Silva, PS., Lima, AF., Fernandez,
1322 DR. (2012b). Morphological differentiation among migratory fish species from the Paraná
1323 River basin. *Biota Neotropica*, 12(4), 41-49. <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032012000400003>.
- 1325 Azevedo, JS., Talgatti, DM., Torgan, LC., Pereira, AC., Melo, S. (2018). O gênero
1326 *Gomphonema* (Bacillariophyta) na comunidade perifíticas do rio e reservatório de Curuá-Una

- 1327 (Santarém, Pará, Brasil). *Rodriguésia*, 69(2)765-776. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201869234>.
1328
- 1329 Balassa, GC.; Fugi, R.; Hahn, NS.; Galina, AB. (2004). Dieta de espécies de Anostomidae
1330 (Teleostei, Characiformes) na área de influência do reservatório de Manso, Mato Grosso, Brasil.
1331 *Iheringia, Série Zoologia*, 94 (1), 77-82. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212004000100014>.
- 1332 Barbosa, FG., Melo, AS. (2009). Modelo preditivo de sobrevivência do Mexilhão Dourado
1333 (*Limnoperna fortunei*) em relação a variações de salinidade na Laguna dos Patos, RS, Brasil.
1334 *Biota Neotropica*, 9(3). <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032009000300037>.
- 1335 Benedito, E., Santana, ARA., Werth, M. (2018). Divergence in energy sources for *Prochilodus*
1336 *lineatus* (Characiformes: Prochilodontidae) in Neotropical floodplains. *Neotropical*
1337 *Ichthyology*, 16(4). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160130>.
- 1338 Bido, AF., Urbinati, EC., Makrakis, MC., Celestino, LF., Mônica, S., Makrakis, S. (2018).
1339 Stress indicators for *Prochilodus lineatus* (Characiformes: Prochilodontidae) breeders during
1340 passage through a fish ladder. *Marine and Freshwater Research*, 69(12), 1814-1821.
1341 <https://doi.org/10.1071/MF18087>.
- 1342 Bizzotto, PM. Trânsito de peixes na escada da UHE-Igarapava, Rio Grande, Alto Paraná.
1343 (Dissertação de Mestrado). Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- 1344 Bond, MJ., Jones, NE. (2015). Spatial distribution of fishes in hydropeaking tributaries of Lake
1345 Superior. *River Research and Applications*, 31 (1), 120-133. <https://doi.org/10.1002/rra.2720>.
- 1346 Bowen, SH. (1983). Detritivory in neotropical fish communities. *Biology of Fish*, 9, 137-144.
1347 <http://dx.doi.org/10.1007/BF00690858>.
- 1348 Brasil (1998). Projeto de lei nº 4.630, de 1998. Torna obrigatória a implantação de escadas para
1349 peixes em barragens construídas em cursos d'água de domínio da União. Congresso Nacional.
1350 Disponível em:
1351 https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=28936.
- 1352 Casemiro, FAP., Hahn, NS., Delariva, RL. (2005). Estrutura trófica da ictiofauna, ao longo do
1353 gradiente longitudinal do reservatório de Salto Caxias (rio Iguaçu, Paraná, Brasil), no terceiro
1354 ano após o represamento. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 27 (1), 63-71.
1355 <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v27i1.1362>.
- 1356 Castro, RMC., Vari, RP. (2004). Detritivores of the South American Fish Family
1357 Prochilodontidae (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes): A Phylogenetic and
1358 Revisionary Study. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 622.
- 1359 Celestino, LF (2018). *Migração de Prochilodus lineatus (Valenciennes, 1836) através de*
1360 *escada para peixes em usina hidrelétrica: gatilhos migratórios e conectividade bidirecional*
1361 (Tese de doutorado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo-PR.
- 1362 Celestino, LF., Sanz-Ronda, FJ., Miranda, LE., Makrakis, MC., Dias, JHP., Makrakis, S (2019).
1363 Bidirectional connectivity via fish ladders in a large Neotropical river. *River Research and*
1364 *applications*, 35 (3), 236–246. <https://doi.org/10.1002/rra.3404>.

- 1365 Cetto, JM., Leandrini, JA., Felisberto, SA., Rodrigues, L. (2004). Comunidade de algas
1366 perifíticas no reservatório de Iraí, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum Biological*
1367 *Sciences*, 26(1), 1-7. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsoci.v26i1.1645>.
- 1368 Costa, RS., Okada, EK., Agostinho, AA., Gomes, LC. (2012). Variação temporal no
1369 rendimento e composição específica da pesca artesanal do Alto Rio Paraná, PR- Brasil: os
1370 efeitos crônicos dos barramentos. *Boletim do Instituto de Pesca*, 38(3), 199-213.
- 1371 Da Silva, JE. (2017). Densidade e estrutura populacional de larvas de *Limnoperma fortunei*
1372 Dunker 1857, e os efeitos da resiliência do rio Paraná sobre a população (Dissertação de
1373 mestrado). Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR.
- 1374 Delariva, RL., Hahn, NS., Kashiwaqui, EAL. (2013). Diet and trophic structure of the fish fauna
1375 in a subtropical ecosystem: impoundment effects. *Neotropical Ichthyology*, 11(4), 891-904.
1376 <https://doi.org/10.1590/S1679-62252013000400017>.
- 1377 Dos Santos, MH. (2018). *Migração dos grandes bagres amazônicos pela perspectiva dos*
1378 *isótopos de estrôncio em otólitos* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Rondônia,
1379 Porto Velho-RO.
- 1380 Duchinni, D., Boltovskoy, D., Sylvester, F. (2015). Detachment, displacement and
1381 reattachment activity in a freshwater byssate mussel (*Limnoperma fortunei*): the effects of light,
1382 temperature and substratum orientation. *Biofouling*, 31 (7), 599-611.
1383 <https://doi.org/10.1080/08927014.2015.1080251>.
- 1384 Empresa de Pesquisa Energética (Brasil) – EPE. (2020). Balanço energético Nacional: Ano
1385 base 2019. Rio de Janeiro: EPE.
- 1386 Fugi, R., Agostinho, AA., Hahn, NS. (2001). Trophic morphology of five benthic-feeding fish
1387 species of a tropical floodplain. *Revista Brasileira de Biologia*, 61(1), 27-33.
1388 <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-71082001000100005>.
- 1389 Fugi, R.; Hahn, NS., Agostinho, AA. (1996). Feeding of five species of bottom feeding fish of
1390 the Paraná River (PR, MS, Brasil). *Environmental Biology of Fishes*, 46, 297-307. [http://](http://dx.doi.org/10.1007/BF00005006)
1391 dx.doi.org/10.1007/BF00005006.
- 1392 Gandini, CV., Boratto, IA., Fagundes, DC., Pompeu, PS. (2012). Estudo da alimentação dos
1393 peixes no rio Grande à jusante da Usina hidrelétrica de Itutinga, Minas Gerais, Brasil. *Iheringia,*
1394 *Série Zoologia*, 102 (1), 56-61. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212012000100008>.
- 1395 Garcia, M., & Protogino, L. (2005). Invasive freshwater molluscs are consumed by native fishes
1396 in South America. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(1), 34–38.
1397 <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2004.00570.x>.
- 1398 Godoy, MP. (1967). Dez anos de observações sobre peridiocidade migratória de peixes do Rio
1399 Mogi Grassu. *Revista Brasileira de Biologia*, 27 (1), 1–12.
- 1400 Godoy, MP. (1975). Peixes do Brasil, Subordem Characoidei, Bacia do Rio Mogi Guassu.
1401 Piracicaba: Editora Franciscana.

- 1402 Godoy, AC., Corrêia, AF., Rodrigues, RB., Boscolo, WR., Bittencourt, F., Nervis, JAL.,
1403 Feiden, A. (2018). Three Native Species as Possible Control for *Limnoperna Fortunei* in Net
1404 Cage Farming in the Itaipu Reservoir. *Water, Air & Soil Pollution*, 229, 241.
1405 <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3892-0>.
- 1406 Grazotti, RV., Miranda, LE., Agostinho, AA., Gomes, LC. (2018). Downstream impacts of
1407 dams: shifts in benthic invertivorous fish assemblages. *Aquat Sciences*, 80 (28), 1-14.
1408 <https://doi.org/10.1007/s00027-018-0579-y>.
- 1409 Gubiani, EA., Gomes, LC., Agostinho, AA., Okada, EK (2007). Persistence of fish populations
1410 in the upper Paraná River: effects of water regulation by dams. *Ecology of Freshwater Fish*,
1411 16(2), 191–197. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2006.00211.x>.
- 1412 Gutfreund, A., Makrakis, S., Castro-Santos, T., Celestino, LF., Dias, JHP., Makrakis, MC
1413 (2018). Effectiveness of a fish ladder for two Neotropical migratory species in the Paraná River.
1414 *Marine and Freshwater Research*, 69 (12), 1848-1856. <https://doi.org/10.1071/MF18129>.
- 1415 Hahn, NS., & Fugi, R. (2007). Alimentação de peixes em reservatórios brasileiros: alterações e
1416 consequências nos estágios iniciais do represamento. *Oecologia Brasiliensis*, 11(4), 469-480.
- 1417 Hellawell, JM., & Abel, R. (1971). A rapid volumetric method for the analysis of the food of
1418 fishes. *Journal of Fish Biology*, 3(1), 29-37. [https://doi.org/10.1111/j.1095-
1419 8649.1971.tb05903.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1971.tb05903.x).
- 1420 Hynes, HBN. (1950). The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and
1421 *Pygosteus pungitius*) with a review of methods used in studies of the food of fishes. *Journal of*
1422 *Animal Ecology*, 19 (1), 36-58. <https://doi.org/10.2307/1570>.
- 1423 Hyslop, EJ. (1980). Stomach contents analysis; a review of methods and their
1424 application. *Journal of Fish Biology*, 17(4), 411-429. [https://doi.org/10.1111/j.1095-
1425 8649.1980.tb02775.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x).
- 1426 Jorcin, A., Nogueira, MG., Belmont, R. (2009). Spatial and temporal distribution of the
1427 zoobenthos community during the filling up period of Porto Primavera Reservoir (Paraná River,
1428 Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 69(1), 19-29. [https://doi.org/10.1590/S1519-
1429 69842009000100003](https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000100003).
- 1430 Kawakami, E., & Vazzoler, G. (1980). Método gráfico e estimativa de índice alimentar aplicado
1431 no estudo de alimentação de peixes. *Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo*, 29, 205-
1432 207. <http://dx.doi.org/10.1590/S0373-55241980000200043>.
- 1433 Krupek, RA., & Branco, CCZ. (2014). Estrutura das comunidades de macroalgas da bacia de
1434 drenagem do rio Cascavel, Estado do Paraná, Brasil. *Hoehnea*, 41(1), 41-50.
1435 <http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062014000100004>.
- 1436 Larinier, M (2002). Fishways: General considerations. In: Fishways: Biological basis, design
1437 criteria and monitoring. Larinier, M., Travade, F., Porcher, JP. Bulletin Français de la Pêche et
1438 de la Pisciculture, 21-27. Conseil Supérieur de la Pêche: Paris, France.
- 1439 Leandro, GRS., Souza, CA., Nascimento, FR. (2014). Sedimentos de fundo e em suspensão no
1440 corredor fluvial do rio Paraguai, Pantanal norte Mato-Grossense, Brasil. *Boletim Goiano de*
1441 *Geografia*, 34(2), 195-214. <https://doi.org/10.5216/bgg.v34i2.31722>.

- 1442 Leite, RC. (2010). *Distribuição espacial de Chironomidae (Diptera) em riachos da região*
1443 *norte da Serra do Mar, Estado de São Paulo* (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo,
1444 Ribeirão Preto-SP.
- 1445 Lira, NA., Pompeu, PS., Agostinho, CS., Agostinho, AA., Arcifa, MS., Pelicice, FM. (2017).
1446 Fish passages in South America: an overview of studied facilities and research effort.
1447 *Neotropical Ichthyology*, 15 (2). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160139>.
- 1448 Lopes, CA., Benedito-Cecilio, E., Martinelli, LA. (2007). Variability in the carbon isotope
1449 signature of *Prochilodus lineatus* (Prochilodontidae, Characiformes) a bottom-feeding fish of
1450 the Neotropical region. *Journal of fish biology*, 70(2), 1649-
1451 59. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01388.x>.
- 1452 Lucas, MC.; & Baras, E. (2001). *Migration of Freshwater Fishes*. Wiley Online Library:
1453 Oxford, UK.
- 1454 Makrakis, S., Bertão, APS., Da Silva, JFM., Makrakis, MC., Sanz-Ronda, FJ., Celestino, LF.
1455 (2019). Hydropower Development and Fishways: A Need for Connectivity in Rivers of the
1456 Upper Paraná Basin. *Sustainability*, 11, 1-24. <https://doi.org/10.3390/su11133749>.
- 1457 Makrakis, S., Makrakis, MC., Wagner, RL., Dias, JHP., Gomes, LC. (2007). Utilization of the
1458 fish ladder at the Engenheiro Sergio Motta Dam, Brazil, by long distance migrating
1459 potamodromous species. *Neotropical Ichthyology*, 5(2), 197-204.
1460 <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252007000200014>.
- 1461 Makrakis, MC., Miranda, LE., Makrakis, S., Fontes-Júnior, HM., Morlis, WG., Dias, JHP.,
1462 Garcia, JO (2012). Diversity in migratory patterns among Neotropical fishes in a highly
1463 regulated river basin. *Journal of Biology*, 81, 866-881. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03346.x>.
- 1465 Mansur, MCD., Figueiró, H., Santos, CP., Glock, L., Bergonci, PEA., Pereira, D. (2008).
1466 Variação espacial do comprimento e do peso úmido total de *Limnoperna fortunei* (Dunker,
1467 1857) no delta do rio Jacuí e lago Guaíba (RS, Brasil). *Biotemas*, 21(4), 49-54.
1468 <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2008v21n4p49>.
- 1469 Martins, SL (2000). Sistemas para a transposição de peixes (Dissertação de mestrado). Escola
1470 Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.
- 1471 Medeiros, PRP., Santos, MM., Cavalcante, GH., De Souza, WFL., Da Silva, WF. (2014).
1472 Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte
1473 de materiais na interface continente-oceano. *Geochimica Brasiliensis*, 28 (1), 65-78.
1474 <https://doi.org/10.5327/Z0102-9800201400010007>.
- 1475 Minas Gerais (Estado) (1997). Lei nº 12.488 de 09 de abril de 1997. Torna obrigatória a
1476 construção de escada para peixes de piracema em barragem edificada no Estado. Disponível em:
1477 <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Lei-ordinaria-12488-1997-Minas-gerais-MG.pdf>.
- 1479 Moraes, MFPG., Barbola, IF., Guedes, EAC. (1997). Alimentação e relações morfológicas com
1480 o aparelho digestivo do “curimatá”, *Prochilodus lineatus* (Valenciennes) (Osteichthyes.
1481 Prochilodontidae), de uma lagoa do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 14(1), 169-
1482 180.

- 1483 Nakamura-Filho, A., Almeida, AC., Riera, HE., Araújo, JLF., Gouveia, VJP., Carvalho, MD.,
1484 Cardoso, AV. (2014). Polymorphism of CaCO₃ and microstructure of the shell of a Brazilian
1485 invasive mollusc (*Limnoperna fortunei*). *Materials Research*, 17 (1), 15-22.
1486 <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392014005000044>.
- 1487 Oliveira, NCC. (2018). A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil.
1488 *Varia Historia*, 34 (65), 315-346. <https://doi.org/10.1590/0104-87752018000200003>.
- 1489 Oliveira, MD., Pellegrin, LA., Barreto, RR., Xavier, IG. (2004). *Área de ocorrência do*
1490 *mexilhão dourado (Limnoperna fortunei) na Bacia do Alto Paraguai entre os anos de 1998 e*
1491 *2004*. Corumbá: EMBRAPA.
- 1492 Osório, NC., Tremarin, PI., Ludwing, TV., Rodrigues, L. (2017). *Gomphonema* Ehrenberg
1493 (Bacillariophyceae) in a lotic environment of the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Acta*
1494 *Scientiarum Biological Sciences*, 39(2), 135-147.
1495 <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v39i2.32134>.
- 1496 Paolucci EM., Cataldo, DH., Fuentes, CM., Boltovskoy, D. (2007) Larvae of the invasive
1497 species *Limnoperna fortunei* (Bivalvia) in the diet of fish larvae in the Paraná River, Argentina.
1498 *Hydrobiologia*, 589, 219–233. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-0734-2>.
- 1499 Paolucci EM., Cataldo, DH., Fuentes, CM., Boltovskoy, D. (2010). Prey selection by larvae of
1500 *Prochilodus lineatus* (Pisces: Curimatidae): indigenous zooplankton versus veligers of the
1501 introduced bivalve *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mitilidae). *Aquatic ecology*, 44, 255–267.
1502 <https://doi.org/10.1007/s10452-009-9263-6>.
- 1503 Paolucci, EM., & Thuensen, E. (2015). Trophic Relationships of *Limnoperna fortunei* with
1504 Larval Fishes. In: Boltovskoy D. (eds) *Limnoperna Fortunei*. *Invading Nature - Springer Series*
1505 *in Invasion Ecology*, 10. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13494-9_12.
- 1506 Paolucci, EM., Thuesen, EV., Cataldo, DH., Boltovskoy, D. (2010b). Veligers of an introduced
1507 bivalve (*Limnoperna fortunei*) are a new food resource that enhances growth of larval fish in
1508 the Paraná River (South America). *Freshwater Biology*, 55(9), 1831–1844.
1509 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02418.x>.
- 1510 Paraná (Estado). (2007). Lei ordinária nº 15.446, de 15 de janeiro de 2007. Torna obrigatória a
1511 construção de canais apropriados para facilitar a piracema nos reservatórios das usinas
1512 geradoras de eletricidade de propriedade do governo do Estado do Paraná. Disponível em:
1513 <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=143557>.
- 1514 Pereira, CCGF., Smith, WS., Espíndola, ELG. (2004). Hábitos alimentícios de nueve espécies
1515 de peces del embalse de Três Irmãos, São Paulo, Brasil. *Universidade y Ciencia*, 1, 33-38.
- 1516 Resende, EK., Catella, AC., Nascimento, FL., Palmeira, SS., Pereira, RAC., Lima, MS.,
1517 Almeida, VLL. (1995). Biologia do curimatá (*Prochilodus lineatus*), pintado
1518 (*Pseudoplatystoma corruscans*), e cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*) na Bacia hidrográfica
1519 do rio Miranda, Pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil. Corumbá: Embrapa. Disponível em:
1520 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37461/1/BP02.pdf>.

- 1521 Ribeiro, AR., Biagioni, RC., Smith, WS. (2014). Estudo da dieta natural da ictiofauna de um
1522 reservatório centenário, São Paulo, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 104(4), 404-412.
1523 <https://doi.org/10.1590/1678-476620141044404412>.
- 1524 Rios, FS., Carvalho, CS., Pinheiro, GHD., Fernandes, LDMN., Rantin, FT. (2011). Utilization
1525 of endogenous reserves and effects of starvation on the health of *Prochilodus lineatus*
1526 (Prochilodontidae). *Environmental Biology of Fishes*, 91, 87-94.
1527 <https://doi.org/10.1007/s10641-010-9762-2>.
- 1528 Rossi, LM. (2008). Ecología trófica de peces de importancia económica del Río Parana durante
1529 su ontogenia temprana (Tese de doutorado), Universidad Nacional de La Plata.
- 1530 Sanseverino, AM., & Nessimian, JL. (2008). Larvas de Chironomidae (Diptera) em depósitos
1531 de folhço submerso em um riacho de primeira ordem da Mata Atlântica (Rio de Janeiro,
1532 Brasil). *Revista Brasileira de Entomologia*, 52(1), 95-104. [https://doi.org/10.1590/S0085-
1533 56262008000100017](https://doi.org/10.1590/S0085-56262008000100017).
- 1534 Santos, EP. (1978). *Dinâmica de populações aplicada à pesca e piscicultura*.
1535 São Paulo: HUCITECIEDUSP.
- 1536 São Paulo (Estado). (1997). Lei nº 9.798, de 07 de outubro de 1997. Dispõe sobre a construção
1537 de escadas para peixes em barragens edificadas em cursos d'água de domínio do Estado. Diário
1538 oficial do Estado de São Paulo, 107 (191).
- 1539 Silva, MR., & Hahn, NS. (2009). Influência da dieta sobre a abundância de Moenkhausia
1540 dichroua (Characiformes, Characidae) no reservatório de Manso, Estado de Mato Grosso.
1541 *Iheringia, Série Zoologia*, 99 (3), 324-328. [https://doi.org/10.1590/S0073-
1542 47212009000300016](https://doi.org/10.1590/S0073-47212009000300016).
- 1543 Shibatta, OA., & Dias, JHP. (2006). 40 peixes do Brasil: CESP 40 anos. Rio de Janeiro: Editora
1544 dois.
- 1545 Shmutz, S., & Moog, O. (2018). Dams: ecological impacts and management. In: Schumutz, S.,
1546 Sendzimir, J. Riverine Ecosystem Management: Science for Governing Towards a Sustainable
1547 Future. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_6.
- 1548 Smith, WS., Petreire-Jr, M., Barrella, W. (2003). The fish fauna in tropical rivers: The case of
1549 the Sorocaba river basin, SP, Brazil. *Revista de Biologia Tropical*, 51(3), 769-782.
- 1550 Souza, DP., Silva, WRS., Cervinski, GC., Santos, BD., Comaru, FA., Trigoso, FVM. (2018).
1551 Desenvolvimento urbano e saúde pública: impactos da construção da UHE de Belo Monte.
1552 *Desenvolvimento e Meio ambiente*, 46, 154-173. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v46i0.56040>.
- 1553 Smoot, JC., & Findlay, RH. (2010a). Caloric needs of detritivorous gizzard shad *Dorosoma*
1554 *cepedianum* are met with sediment bacterial and algal biomass. *Aquatic biology*, 8, 105-114.
1555 <https://doi.org/10.3354/ab00202>.
- 1556 Smoot, JC., & Findlay, RH. (2012b). Microbes as food for sediment-ingesting detritivores: low-
1557 density particles confer a nutritional advantage. *Aquatic microbial ecology*, 59, 103-109.
1558 <https://doi.org/10.3354/ame01383>.

- 1559 Stevaux, JC., Martins, DP., Meurer, M. 2009. Changes in a large regulated tropical river: The
1560 Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology*, 113 (3-4),
1561 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.015>.
- 1562 Vazzoler, AEAM (1996). *Biologia de reprodução de peixes Teleósteos: Teoria*
1563 *e Prática*. EDUEM: Maringá.
- 1564 Vermulm-Junior, H., & Giamas, MTD. (2008). Ocorrência do mexilhão dourado *Limnoperma*
1565 *fortune* (Dunker, 1857) (Mollusca; Bivalvia. Mytilidae) no trato digestivo do “Armal”
1566 *Pterodoras granulosos* (Valenciennes, 1821) (Siluriformes; Doradidae), do rio Paraná, São
1567 Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 34(1), 175 – 179.
- 1568 Volpato, GL., Barreto, RE., Marcondes, AL., Moreira, PSA., Ferreira, MFB. (2009). Fish
1569 ladders select fish traits on migration—still a growing problem for natural fish populations.
1570 *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 42(5), 307-313.
1571 <https://doi.org/10.1080/10236240903299177>.
- 1572 Wagner, RL., Makrakis, S., Castro-Santos, T., Makrakis, MC., Dias, JHP., Belmont, RF.
1573 (2012). Passage performance of long-distance upstream migrants at a large dam on the Paraná
1574 River and the compounding effects of entry and ascent. *Neotropical Ichthyology*, 10(4), 785-
1575 795. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400011>.
- 1576 Wootton, RJ. (1990). *Ecology of teleost fishes*. Chapman & Hall, London.
- 1577 Zarfl, C., Lumsdon, AE., Berlekamp, J., Tydecks, L., Tockner, K. (2015). A global boom in
1578 hydropower dam construction. *Aquatic Sciences* 77, 161–170. [https://doi.org/10.1007/s00027-](https://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0)
1579 [014-0377-0](https://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0).