



**ANA LUIZA VIEIRA ANDRADE**

**DIFERENTES ABORDAGENS NO ESTUDO DA ECOLOGIA  
DE PEIXES EM UMA CASCATA DE RESERVATÓRIOS**

**LAVRAS – MG  
2022**

**ANA LUIZA VIEIRA ANDRADE**

**DIFERENTES ABORDAGENS NO ESTUDO DA ECOLOGIA DE PEIXES EM UMA  
CASCATA DE RESERVATÓRIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestra.

Dr. Paulo dos Santos Pompeu  
Orientador

Dra. Ruanny Casarim  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2022**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Andrade, Ana Luiza Vieira.

Diferentes abordagens no estudo da ecologia de peixes em uma  
cascata de reservatórios / Ana Luiza Vieira Andrade. - 2022.

54 p. : il.

Orientador(a): Paulo dos Santos Pompeu.

Coorientador(a): Ruanny Casarim.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Hidroacústica. 2. Dieta. 3. Sazonalidade. I. Pompeu, Paulo  
dos Santos. II. Casarim, Ruanny. III. Título.

**ANA LUIZA VIEIRA ANDRADE**

**DIFERENTES ABORDAGENS NO ESTUDO DA ECOLOGIA DE PEIXES EM UMA  
CASCATA DE RESERVATÓRIOS**

**DIFFERENT APPROACHES IN THE STUDY OF FISH ECOLOGY IN A  
RESERVOIR CASCADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestra.

APROVADA em 30 de junho de 2022.  
Dra. Raquel Loures – CEMIG  
Dr. Marcelo Passamani – UFLA

Dr. Paulo dos Santos Pompeu  
Orientador

Dra. Ruanny Casarim  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2022**

## AGRADECIMENTOS

Impossível começar os agradecimentos senão com a pessoa que me deu a chance de estar aqui. Paulo, obrigada por confiar em mim no dia que bati na sua porta e fiz quase uma intimação para você me contar sobre o que estudava/pesquisava. Te agradeço, principalmente, por ser tão compreensivo e inspirador, isso fez total diferença. Da menina que os olhos não enxergavam muito além de água salgada e tartaruga, hoje uma mestranda com visão mais crítica e uma mochilinha de conhecimento um pouco mais pesada.

Ivo e Top, por me acolherem na equipe com tanta disposição para ensinar e responder minhas infindáveis perguntas. Por todas as palavras de conforto, apoio e abraços em todos os momentos, bons e ruins. Por todas as dicas, conselhos, risadas, chocalinhos e sonecas depois do almoço. E por tudo mais que eu posso agradecer a vocês eternamente. Tudo o que eu amo sobre o que a gente faz, com certeza aprendi a amar ainda mais com vocês.

Aline, Pat, Débora, Jotinha, Lídia, Gilmara, Silvia, Tia, Peres, Robert e todo o pessoal do Lab EcoPeixes, por tudo o que já aprendi em campo e no laboratório com vocês. Também, por todos os nossos momentos de integração e confraternização. Sempre ouvi sobre como o nosso lab era admirado pela união e que muitos queriam fazer parte dele por isso. Hoje eu sinto inveja de mim mesma, da época que podia estar mais tempo confraternizando e aprendendo com vocês. Aprendi muito sobre trabalho em equipe e valorizar a boa comunicação. Tenho certeza de que sou uma pessoa melhor para trabalhar em grupo depois desse tempo com todos vocês.

À Tatau, minha coorientadora, mas também refúgio em momentos de desespero ou fonte de inspiração a todo momento. Obrigada por confiar em mim e no meu trabalho de um jeito que eu não tinha visto antes. Suas palavras, sempre carregadas de carinho, me ensinaram muito no caminho até aqui. Sua orientação, suas dicas e correções com certeza fizeram meu trabalho melhor. Embora eu precise confessar que várias vezes eu lia os comentários e pensava: “meu deus do céu, tatau, porque eu preciso responder isso????” hahaha. Obrigada por tudo!

À Marina, minha grande companheira do mestrado. Viveu altos e baixos comigo e me ensinou muito sobre ela, mas sobre mim também. Dividiu melhores e piores momentos dos últimos dois anos. Comigo, chorou de rir e riu depois de chorar muito. Me pediu conselho, mas me aconselhou dizendo exatamente o que ela mesma precisava ouvir em outros momentos. Me ensinou muito, muito e me deixou entrar naquele coração que só parece que é bravo, mas é molinho que só. Obrigada, princesss!

A todo mundo que em algum momento pôde dar uns pitacos no trabalho, pra tentar me ajudar a melhorar. Tia, me deu várias dicas e me fez abrir os olhos para várias perguntas que eu ainda precisava responder. Chico, por toda a paciência e empenho em me ajudar na estatística. Definitivamente não fui sua melhor aluna, ainda passo meus perrengues, mas sua ajuda foi essencial para que eu conseguisse completar esse trabalho. Débora, por ser uma das mulheres e pesquisadoras e pessoas que eu mais admiro no mundo. Tenho certeza absoluta de que não importa o caminho que eu escolha depois daqui, você vai ser sempre uma referência. Te admiro muito!

Às minhas amigas e amigos de república, que dividiram muitos dos meus melhores momentos comigo e me ajudaram a criar memórias que eu nunca vou esquecer. Me distraíram quando eu precisava (quando não precisava também, rs) e celebraram comigo cada momento, cada conquista. Já sinto saudades! Obrigada!

A todas as minhas amigas e amigos da vida, que se alegram com as minhas conquistas e estão do meu lado há tanto ou pouco tempo. Principalmente aos que se interessam em saber sobre o que eu faço e por que importa. Obrigada por acreditarem na nossa ciência e por serem mais curiosos.

À minha família, que é razão de 50% do meu estresse, mas também do meu conforto. Obrigada por me apoiarem, cada um do seu jeito. Por terem tornado possível todo o meu caminho pra chegar até aqui. Por tudo que são e sempre foram pra mim.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós Graduação em Ecologia aplicada, pela oportunidade de realizar trabalhos incríveis, conhecer e trabalhar com pessoas super competentes e por todos os bons momentos vividos.

Agradecemos ainda ao programa de P&D CEMIG/ANEEL pelo financiamento, através do projeto GT612.

*I would also like to thank all my new friends in this incredible experience I'm living in the United States. They have been so helpful when it comes to maintaining my sanity and mental health, specially in this very end. I could not end this without saying thanks to my friends at Starbucks haha. There were some days that I spent more hours in there on the weekends than my friends who actually work there. Thank you for embracing me and for being so kind. Thank you so much for entertaining me every now and then and for being my company for so long. And last but not least, I would like to thank the Rook family. My new family who welcomed me with arms wide open and gave me all the support to finish this work. They have done so much for me already and I'll forever be grateful for this opportunity and for everything we lived and will live together.*



## RESUMO

As principais bacias hidrográficas do Brasil se encontram, atualmente, sob influência de barragens de empreendimentos hidrelétricos e a existência de uma cascata de reservatórios pode acentuar todos os tipos de impactos causados por represamentos. Em se tratando de peixes é esperado que, ao longo do tempo e espaço, o efeito das cascatas de reservatórios seja mais pronunciado de um reservatório para outro. Aqui, avaliamos a dieta de uma espécie não-nativa, através de análise de conteúdo estomacal, e a distribuição de tamanho dos peixes, através da hidroacústica, ao longo do tempo e espaço em um sistema de cascata de reservatórios. Vimos que a dieta de *Knodus moenkhausii* foi influenciada pela região em que se encontra e, embora a relação com a abundância dos itens alimentares tenha sido apenas marginalmente significativa, os itens mais abundantes também apresentaram maiores valores de frequência de ocorrência nos estômagos. Com a hidroacústica, vimos que os peixes maiores se encontram nas porções mais lóticas ou mais próximas de trechos lóticos do sistema, tanto na estação seca quanto na chuvosa. Entre as estações, vimos que o tamanho dos peixes é maior na estação chuvosa na maioria das regiões e existe movimentação dos peixes, o que provavelmente se relaciona com a necessidade de deslocamento das espécies migradoras para regiões mais lóticas, nessa estação.

**Palavras-chave:** Hidroacústica. Dieta. Sazonalidade. Macroinvertebrados.



## ABSTRACT

The main hydrographic basins in Brazil are currently under the influence of dams from hydroelectric projects. The existence of a cascade of reservoirs can accentuate all types of impacts caused by the damming. In the case of fish, it is expected that, over time and space, the effect of reservoir cascades will be more pronounced from one reservoir to another. Here, we evaluated the diet of a non-native species, through analysis of stomach contents, and the fish size distribution, through hydroacoustics, over time and space in a cascade of reservoirs' system. We saw that the diet of *Knodus moenkhausii* was influenced by the region in which it is found and, although the relationship with the abundance of food items was only marginally significant, the most abundant items also presented higher values of frequency of occurrence in the stomachs. With hydroacoustics, we saw that the largest fish are found in the most lotic or closest to lotic portions of the system, both in the Dry and Rainy seasons. Between seasons, we saw that the size of fish is greater in Rainy season in most regions and there is movement of fish, which is probably related to migratory species' necessity to move upstream toward the lotic stretches in the Rainy season.

**Keywords:** Hydroacoustics. Diet. Seasonality. Macroinvertebrates.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplar de <i>Knodus moenkhausii</i> (Eigenmann & Kennedy, 1903) coletado na bacia do Rio Grande e posteriormente dissecado para análise de conteúdo estomacal.....	21
Figura 2 - Distribuição dos pontos amostrais ao longo do sistema Rio-Reservatórios.....	23
Figura 3 - Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) da relação entre dieta de <i>Knodus moenkhausii</i> e região de coleta dentro do sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG.....	26
Figura 4 - Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) da relação entre dieta de <i>Knodus moenkhausii</i> e estação de coleta (Chuva ou Seca) dentro do sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG.....	27
Figura 5 - Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) da relação entre abundância de macroinvertebrados no ambiente e região de coleta dentro do sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG. ....	28
Figura 6 - Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) da relação entre abundância de macroinvertebrados no ambiente e estação de coleta (Chuva ou Seca) dentro do sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG.....	29
Figura 7 - Análise de correlação canônica (CCA) da relação entre a abundância relativa dos macroinvertebrados e a frequência de ocorrência na dieta de <i>Knodus moenkhausii</i> dentro de um sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG.....	30
Figura 8 - Distribuição dos pontos amostrais ao longo do sistema Rio-Reservatórios no Alto rio Grande. Os pontos foram agrupados em: Camargos (Cam1, Cam2, Cam3 e Cam4) e Itutinga (Itu1 e Itu2).....	41
Figura 9 - Distribuição dos valores de TS médio dos Traços de Peixe identificados nos reservatórios da UHE Camargos e UHE Itutinga, na bacia do Rio Grande em Minas Gerais.	45
Figura 10 - Valores de TS médio para cada ponto nos reservatórios de Camargos e Itutinga, nas estações Seca e Chuvosa, com intervalo de confiança de 95%.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição da frequência de ocorrência (FO) nos estômagos de <i>Knodus moenkhausii</i> e abundância (AB) dos macroinvertebrados nas quatro regiões avaliadas.....	31
Tabela 2 - Descrição da abundância (AB) dos macroinvertebrados nas quatro regiões avaliadas, nas estações Chuva e Seca.....	32
Tabela 3 - Número de traços de peixes (Fish Track) visualizados por campanha e por período através da eco sondagem nas 12 coletas realizadas nos reservatórios de Camargos e Itutinga. ....	44
Tabela 4 - Resultados do teste de Dunn para TS médio entre os pontos nos reservatórios da UHE Camargos e UHE Itutinga, par a par, na estação Seca. ....	46
Tabela 5 - Resultados do teste de Dunn para TS médio entre os pontos nos reservatórios da UHE Camargos e UHE Itutinga, par a par, na estação Chuva. ....	46

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>12</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>14</b>
	<b>CAPÍTULO 2: ALIMENTAÇÃO DE UMA ESPÉCIE NÃO-NATIVA AO LONGO DE UM SISTEMA RIO-RESERVATÓRIOS EM CASCATA.....</b>	<b>19</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Coleta de dados .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>34</b>
	<b>CAPÍTULO 3: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO TAMANHO DE PEIXES EM UM SISTEMA RIO-RESERVATÓRIOS EM CASCATA .....</b>	<b>38</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>39</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
<b>2.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2</b>	<b>Coleta de dados .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>42</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>
	<b>CAPÍTULO 4: CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>52</b>

## **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As principais bacias hidrográficas do Brasil se encontram, atualmente, sob influência de barragens de empreendimentos hidrelétricos. Consequência disso, diversos rios foram barrados em algum ponto, totalizando mais de 700 reservatórios distribuídos pelo país (AGOSTINHO; PELICICE; GOMES, 2008). Capazes de alterar profundamente diversos aspectos dos rios, a ponto de formar um novo ecossistema (BAXTER, 1977), os barramentos são considerados uma das atividades humanas que mais causam danos ao ambiente aquático (AGOSTINHO; PELICICE; GOMES, 2008).

Um padrão de impactos sucessivos, recorrente em ambientes em que foi instalada uma cascata de reservatórios, foi descrito por PETTS (1984), que agrupou as modificações em impactos primários, secundários e terciários. Os primários incluem alterações em função da redistribuição espacial e temporal do curso do rio, sendo químicas, físicas, geomorfológicas e hidrológicas. Os secundários são, principalmente, mudanças estruturais e da dinâmica da produção primária que, por sua vez, promove os terciários. Mais complexos, esses envolvem mudanças na comunidade de consumidores, especialmente peixes e invertebrados, como consequência da alteração do fluxo de lótico para lântico ou semi-lântico, da fragmentação do hábitat e modificação dos fluxos de carbono.

A Bacia Hidrográfica do Alto Paraná (BHAP) é um exemplo em que o canal principal foi seguidamente barrado, se transformando em uma cascata de reservatórios (AGOSTINHO; PELICICE; GOMES, 2008). Somente no curso principal da bacia do Rio Grande, uma sub-bacia da BHAP, são 12 barragens de hidrelétricas instaladas (IPT, 2008). A existência de uma cascata de reservatórios pode gerar consequências como acentuar os diferentes tipos de impactos causados pelo represamento, além de contribuir para a oligotrofização do rio a jusante, devido ao caráter cumulativo da retenção de nutrientes nos reservatórios (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007). Outro fator importante nesses ambientes é a variação sazonal. Os períodos de chuva e seca podem provocar mudanças espaciais, limnológicas e biológicas temporárias, mas recorrentes, no ambiente. Dessa forma, diferentes épocas do ano acabam diferenciando características bióticas e abióticas (ABELHA; AGOSTINHO; GOULART, 2018).

Em se tratando de peixes, é esperado que, ao longo do tempo e espaço, o efeito das cascatas de reservatórios seja mais pronunciado ao longo da cascata de reservatórios, de montante para jusante (DOS SANTOS et al., 2017; LOURES; POMPEU, 2018; PETESSE; PETRERE, 2012). Entretanto, alguns trabalhos já reportaram a importância de remanescentes

lóticos, afluentes não barrados, a montante de reservatórios, que atuam como fonte de nutrientes e como refúgio para espécies migradoras e/ou reofílicas (ANGULO-VALENCIA et al., 2016; FERREIRA et al., 2017; NUNES et al., 2015), aumentando a fauna nativa e reduzindo efeitos do barramento (DOS SANTOS et al., 2017; LOURES; POMPEU, 2018; MARQUES et al., 2018).

Estudos envolvendo hábitos alimentares de peixes têm grande importância no que diz respeito à biologia das espécies, possibilitando entender não só como elas exploram recursos alimentares (OLIVEIRA et al., 2018) mas também sobre o próprio ambiente, a dinâmica da estrutura trófica e a disponibilidade de recursos alimentares (ABUJANRA; AGOSTINHO; HAHN, 2009; MONTEIRO et al., 2009). Embora o interesse primário dessa área esteja relacionado ao papel das espécies na ecologia trófica de sistemas aquáticos (BRAGA; BORNATOWSKI; VITULE, 2012), a alimentação é um processo dinâmico e, ao estudá-la, podemos encontrar respostas para perguntas sobre efeitos de sazonalidade ou alterações nas condições ecológicas. No primeiro capítulo desta dissertação, avaliamos a dieta de uma espécie não-nativa ao longo do tempo e espaço, em um sistema de reservatórios em cascata.

Outra abordagem já presente na ecologia de peixes é o estudo de aspectos como distribuição, abundância e padrões de movimento em uma área sem interferência direta, através de ferramentas da Hidroacústica. A técnica de utilização de ondas sonoras para detectar organismos na coluna d'água é conhecida como eco-sondagem ou acústica subaquática (BRANDT, 1996; LUCAS; BARAS, 2000). Esta já é uma ferramenta bem estabelecida para o estudo de peixes em ambientes marinhos (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005), mas tem sido explorada também no estudo de peixes de água doce (CASARIM et al., 2018; LOURES; POMPEU, 2015; PRADO; POMPEU, 2017; BRANDT, 1996; LYONS; LUCAS, 2002). No segundo capítulo, avaliamos a distribuição do tamanho dos peixes, também ao longo do tempo e espaço, no sistema de reservatórios em cascata.

## REFERÊNCIAS

- ABELHA, M. C. F.; AGOSTINHO, A. A.; GOULART, E. Plasticidade trófica em peixes de água doce. **Aquaculture research**, v. 49, n. 5, p. 125–139, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v23i0.2696> >. Acesso em: 2022.
- ABUJANRA, F.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. *Effects of the flood regime on the body condition of fish of different trophic guilds in the Upper Paraná River floodplain, Brazil*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. SUPPL. 2, p. 469–479, 2009. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000300003> >. Acesso em: 2022.
- AGOSTINHO, A.A. et al. *Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging*. In: GALIZIA, J. G.; STRASKABA, M. **Theoretical Reservoir Ecology and its Applications**. São Carlos: 1999.
- AGOSTINHO, A. A. et al. *Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management*. **Fisheries Research**, v. 173, p. 26–36, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.04.006> >. Acesso em: 2022.
- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. p. 501.
- AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M.; GOMES, L. C. *Dams and the fish fauna of the Neotropical region: Impacts and management related to diversity and fisheries*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4 SUPPL., p. 1119–1132, 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019> >. Acesso em: 2022.
- ANEEL. No Title. 2021.
- ANGULO-VALENCIA, M. A. et al. *Impoundments affect fish reproduction regardless of reproductive strategy*. **Lakes and Reservoirs: Research and Management**, v. 21, n. 4, p. 362–374, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/lre.12151> >. Acesso em: 2022.
- BARLETTA, M. et al. *Fish and aquatic habitat conservation in South America: A continental overview with emphasis on neotropical systems*. **Journal of Fish Biology**, v. 76, n. 9, p. 2118–2176, 2010. Disponível em: < <http://ftp.nupelia.uem.br/users/agostinhoaa/publications/222-%20JFB-Barletta-et-al.pdf> >. Acesso em: 2022.
- BARRETT, S. *Why reproductive systems matter for the invasion biology of plants*. In: **Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton**. Oxford: Wiley, 2011. p. 195–210.
- BAUMGARTNER, M. T.; BAUMGARTNER, G.; GOMES, L. C. *Spatial and temporal variations in fish assemblage: Testing the zonation concept in small reservoirs*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 3, p. 487–500, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1519-6984.170424> >. Acesso em: 2022.
- BAXTER, R. M. *Environmental effects of Dams and Impoundments*. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 8, n. 1, p. 255–283, 1977. Disponível em: < <https://doi.org/10.1146/annurev.es.08.110177.001351> >. Acesso em: 2022.



BELLARD, C.; CASSEY, P.; BLACKBURN, T. M. *Alien species as a driver of recent extinctions. **Biology Letters***, v. 12, n. 4, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0623> >. Acesso em: 2022.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2021**. Brasil: EPE, 2021. p. 1–73.

BORGES, G.; ABJAUDI, G. Caracterização ambiental da bacia do Rio Grande. In: **Rio Grande: Ambiente, Peixes e Pessoas**. Belo Horizonte: Instituto de Estudos Pró-Cidadania, 2016. p. 8–101.

BRAGA, R. R.; BORNATOWSKI, H.; VITULE, J. R. S. *Feeding ecology of fishes: An overview of worldwide publications. **Reviews in Fish Biology and Fisheries***, v. 22, n. 4, p. 915–929, 2012. Disponível em: < [https://www.academia.edu/5176450/Feeding\\_ecology\\_of\\_fishes\\_an\\_overview\\_of\\_worldwide\\_publications](https://www.academia.edu/5176450/Feeding_ecology_of_fishes_an_overview_of_worldwide_publications) >. Acesso em: 2022.

BRANDT. *Acoustic assessment of fish abundance and distribution*. In: MURPHY, R. B.; WILLIS, D. W. **Fisheries techniques**. American Fisheries Society, 1996. 732p.

BRODEUR, R. D. et al. *New perspectives on the feeding ecology and trophic dynamics of fishes. **Environmental Biology of Fishes***, v. 100, n. 4, p. 293–297, 2017. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s10641-017-0594-1> >. Acesso em: 2022.

CENEVIVA-BASTOS, M.; CASATTI, L. Oportunismo alimentar de *Knodus moenkhausii* (Teleostei, Characidae): uma espécie abundante em riachos do noroeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 97, n. 1, p. 7–15, 2007. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0073-47212007000100002> >. Acesso em: 2022.

CENEVIVA-BASTOS, M.; TABOGA, S. R.; CASATTI, L. *Microscopic Evidence of the Opportunistic Reproductive Strategy and Early Sexual Maturation of the Small-Sized Characin *Knodus moenkhausii* (Characidae, Pisces)*. **Journal of Veterinary Medicine Series C: Anatomia Histologia Embryologia**, v. 44, n. 1, p. 72–80, 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/ahc.12112> >. Acesso em: 2022.

CORR, R. C. **Dinâmica da migração e reprodução dos peixes na região da foz do rio abaeté, alto São Francisco, MG**. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

DAVIES, P. M.; BUNN, S. E.; HAMILTON, S. K. *Primary production in tropical streams and rivers. **Tropical Stream Ecology***, p. 23–42, 2008. Disponível em: < <https://research-repository.uwa.edu.au/en/publications/primary-production-in-tropical-streams-and-rivers> >. Acesso em: 2022.

DE CARVALHO, D. R. et al. *Stable isotopes and stomach content analyses indicate omnivorous habits and opportunistic feeding behavior of an invasive fish. **Aquatic Ecology***, v. 53, n. 3, p. 365–381, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09695-3> >. Acesso em: 2022.

DOS SANTOS, N. C. L. et al. *Environmental filters predict the trait composition of fish communities in reservoir cascades*. **Hydrobiologia**, v. 802, n. 1, p. 245–253, 2017. Disponível em: < <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201700288523> >. Acesso em: 2022.

DRAKE, J. M.; LODGE, D. M. *Global hot spots of biological invasions: Evaluating options for ballast-water management*. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 271, n. 1539, p. 575–580, 2004. Disponível em: < <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2629> >. Acesso em: 2022.

FERREIRA, D. G. et al. *Genetic structure and diversity of migratory freshwater fish in a fragmented Neotropical river system*. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 27, n. 1, p. 209–231, 2017. Disponível em: < <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201800166698> >. Acesso em: 2022.

FOOTE, K. G. *Fish target strengths for use in echo integrator surveys*. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 82, n. 3, p. 981–987, 1987. Disponível em: < <https://darchive.mblwhoilibrary.org/bitstream/handle/1912/5652/JAS000981.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 2022.

GOMES, L. C.; MIRANDA, L. E. *Riverine characteristics dictate composition of fish assemblages and limit fisheries in reservoirs of the Upper Paraná River basin*. **River Research and Applications**, v. 17, n. 1, p. 67–76, 2001. Disponível em: < <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/5267/1/371.pdf> >. Acesso em: 2022.

HAHN, N. S.; FUGI, R. *Alimentação de peixes em reservatórios brasileiros: alterações e conseqüências nos estágios iniciais do represamento*. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 04, p. 469–480, 2007. Disponível em: < <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2684354.pdf> >. Acesso em: 2022.

IEA. *Electricity Information*. **International Energy Agency Database Documentation**, 2021. Disponível em: < <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/electricity-information> >. Acesso em: 2022.

INC, B. *Calibration of BioSonics Digital Scientific Echosounder using T/C calibration spheres*. Seattle, Washington: [s.n.].

IPT. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) - SP/MG**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov>>. Acesso em: 2022.

KRUMME, U.; SAINT-PAUL, U. *Observations of fish migration in a macrotidal mangrove channel in Northern Brazil using a 200-kHz split-beam sonar*. **Aquatic Living Resources**, v. 16, n. 3, p. 175–184, 2003. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00046-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00046-9) >. Acesso em: 2022.

LOURES, R. C.; POMPEU, P. S. *Seasonal and diel changes in fish distribution in a tropical hydropower plant tailrace: Evidence from hydroacoustic and gillnet sampling*. **Fisheries Management and Ecology**, v. 22, n. 3, p. 185–196, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/fme.12116> >. Acesso em: 2022.

LOURES, R. C.; POMPEU, P. S. *Long-term study of reservoir cascade in south-eastern Brazil reveals spatio-temporal gradient in fish assemblages. **Marine and Freshwater Research***, 2018. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1071/MF18109> >. Acesso em: 2022.

LUCAS, M. C.; BARAS, E. *Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. **Fish and Fisheries***, v. 1, n. 4, p. 283–316, 2000. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1046/j.1467-2979.2000.00028.x> >. Acesso em: 2022.

LYONS, J.; LUCAS, M. C. *The combined use of acoustic tracking and echosounding to investigate the movement and distribution of common bream (*Abramis brama*) in the River Trent, England. **Hydrobiologia***, v. 483, p. 265–273, 2002. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1021364504129> >. Acesso em: 2022.

MARQUES, H. et al. *Importance of dam-free tributaries for conserving fish biodiversity in Neotropical reservoirs. **Biological Conservation***, v. 224, n. May, p. 347–354, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.05.027> >. Acesso em: 2022.

MAZZONI, R.; REZENDE, C. F. *Seasonal diet shift in a Tetragonopterinae (*Osteichthyes*, *Characidae*) from the Ubatiba River, RJ, Brazil. **Brazilian journal of biology***, v. 63, n. 1, p. 69–74, 2003. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1519-69842003000100009> >. Acesso em: 2022.

MONTEIRO, A. DE S. et al. Alterações na disponibilidade de recursos alimentares na dieta das principais espécies de peixes. *In: Reservatório de peixe angical: bases ecológicas para o manejo da ictiofauna*. [s.l: s.n.]. p. 77–86.

NUNES, D. M. F. et al. *Influence of a large dam and importance of an undammed tributary on the reproductive ecology of the threatened fish matrinxã *Brycon orthotaenia* Günther, 1864 (*Characiformes: Bryconidae*) in southeastern Brazil. **Neotropical Ichthyology***, v. 13, n. 2, p. 317–324, 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20140084> >. Acesso em: 2022.

OLIVEIRA, A. G. et al. *Long-term effects of flow regulation by dams simplify fish functional diversity. **Freshwater Biology***, v. 63, n. 3, p. 293, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/fwb.13064> >. Acesso em: 2022.

OTA, R. R. et al. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: Revised, annotated and updated. ***Neotropical Ichthyology***, v. 16, n. 2, p. 1–111, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170094> >. Acesso em: 2022.

PARKER-STETTER, S. L. et al. *Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the great lakes: special publication. Great Lakes Fishery Commission*, 2009.  
PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classificatio. **Hydrology and Earth System Sciences***, v. 13, n. 3, p. 243–249, 2002. Disponível em: < <https://hess.copernicus.org/articles/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.html> >. Acesso em: 2022.

PETESSE, M. L.; PETRERE, M. *Tendency towards homogenization in fish assemblages in the cascade reservoir system of the Tietê river basin, Brazil. Ecological Engineering*, v. 48, p. 109–116, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.033> >. Acesso em: 2022.

PETTS, G. *Impounded rivers: perspectives for ecological management*. [s.l.] J. Wiley & Sons, 1984.

POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. Dieta e estrutura trófica das comunidades de peixes de três lagoas marginais do médio São Francisco. *In: Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Gerais*. [s.l.: s.n.]. p. 183–194.

PRADO, I. G.; POMPEU, P. S. *Diel vertical migration of fish in a Neotropical reservoir. Marine and Freshwater Research*, v. 68, n. 6, p. 1070–1078, 2017. Disponível em: < <https://ur.booksc.me/book/63569465/43c0cf> >. Acesso em: 2022.

QIN, J.; XIE, S.; CHENG, F. *Broad diet composition and seasonal feeding variation facilitate successful invasion of the shimofuri goby (Tridentiger bifasciatus) in a water transfer system. Water (Switzerland)*, v. 12, n. 12, p. 1–9, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/w12123411> >. Acesso em: 2022.

RAHEL, F. J. *Homogenization of freshwater faunas. Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 33, p. 291–315, 2002. Disponível em: < <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150429> >. Acesso em: 2022.

SIMBERLOFF, D. et al. *Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. Trends in Ecology and Evolution*, v. 28, n. 1, p. 58–66, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013> >. Acesso em: 2022.

SIMMONDS, J.; MACLENNAN, D. N. *Fisheries acoustics: theory and practice*. [s.l.] Blackwell Publishing, 2005.

SUZUKI, F. M.; PIRES, L. V.; POMPEU, P. S. *Passage of fish larvae and eggs through the Funil, Itutinga and Camargos reservoirs on the upper Rio Grande (Minas Gerais, Brazil). Neotropical Ichthyology*, v. 9, n. 3, p. 617–622, 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1679-62252011000300014> >. Acesso em: 2022.

TRICARICO, E.; JUNQUEIRA, A. O. R.; DUDGEON, D. *Alien species in aquatic environments: a selective comparison of coastal and inland waters in tropical and temperate latitudes. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 26, n. 5, p. 872–891, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1002/aqc.2711> >. Acesso em: 2022.

**CAPÍTULO 2: ALIMENTAÇÃO DE UMA ESPÉCIE NÃO-NATIVA AO LONGO DE  
UM SISTEMA RIO-RESERVATÓRIOS EM CASCATA**

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo hábitos alimentares de peixes têm grande importância no que diz respeito à biologia das espécies, possibilitando entender não só como elas exploram recursos alimentares (OLIVEIRA et al., 2018) mas também sobre o próprio ambiente, a dinâmica da estrutura trófica e a disponibilidade de recursos alimentares (ABUJANRA; AGOSTINHO; HAHN, 2009; MONTEIRO et al., 2009). Embora o interesse primário dessa área esteja relacionado ao papel das espécies na ecologia trófica de sistemas aquáticos (BRAGA; BORNATOWSKI; VITULE, 2012), a alimentação é um processo dinâmico e, ao estudá-la, podemos encontrar respostas para perguntas sobre efeitos de sazonalidade ou alterações nas condições ecológicas. Alterações essas que podem afetar desde a sobrevivência e manutenção das espécies no ambiente até a transferência de energia entre os sistemas (BRODEUR et al., 2017). A importância de estudos como esse é refletida na robustez do embasamento teórico, fundamental na construção de estratégias de conservação de ambientes aquáticos (POMPEU; GODINHO, 2003).

Sabemos que algumas espécies possuem comportamento oportunista quando se trata de alimentação (MAZZONI; REZENDE, 2003; DAVIES; BUNN; HAMILTON, 2008; CARVALHO et al., 2019). Isso significa que a composição da dieta pode se alterar de diferentes formas, como alternando entre itens escassos e abundantes ou substituindo completamente itens em função de sua ocorrência. Tal caráter vem sendo observado em algumas espécies não nativas, e tem sido considerado uma das causas de seu sucesso de invasão (CENEVIVA-BASTOS; CASATTI, 2007; CARVALHO et al., 2019; QIN; XIE; CHENG, 2020). Com essa habilidade, peixes de uma mesma espécie podem explorar diferentes recursos em um mesmo ambiente, utilizando inclusive estratégias de alimentação diferentes, diminuindo a competição intraespecífica. Através dessa estratégia, podem ainda diminuir a dependência de itens alimentares específicos para sua sobrevivência (CENEVIVA-BASTOS; CASATTI, 2007).

Assim como outras características da história de vida, o caráter generalista pode aumentar o potencial invasivo de espécies não nativas (BARRETT, 2011). De modo geral, ambientes de água doce são vulneráveis à invasão (TRICARICO; JUNQUEIRA; DUDGEON, 2016) e a introdução de espécies não-nativas é um importante fator de perda de espécies em todo o mundo (BELLARD; CASSEY; BLACKBURN, 2016; SIMBERLOFF et al., 2013). No espaço e tempo, isso pode resultar em diminuição da diversidade de espécies em diferentes escalas (DRAKE; LODGE, 2004; RAHEL, 2002).

Representando uma das espécies de peixes mais abundantes em ambientes aquáticos degradados (CENEVIVA-BASTOS; CASATTI, 2007), *Knodus moenkhausii* (Eigenmann & Kennedy, 1903) (Figura 1) é considerada importante na estrutura geral das comunidades (CENEVIVA-BASTOS; TABOGA; CASATTI, 2015). É considerada oportunista, em termos de alimentação, (CENEVIVA-BASTOS; CASATTI, 2007; CARVALHO et al., 2019), bem como em relação à alguns traços de vida ligados à reprodução da espécie (CENEVIVA-BASTOS; TABOGA; CASATTI, 2015).

Figura 1 - Exemplar de *Knodus moenkhausii* (Eigenmann & Kennedy, 1903) coletado na bacia do Rio Grande e posteriormente dissecado para análise de conteúdo estomacal.



Fonte: Do autor (2022).

Nosso objetivo, portanto, é analisar se a alimentação de *K. moenkhausii* varia sazonalmente, ao longo de um gradiente longitudinal entre trechos de rios livres e reservatórios em cascata, e se existe relação com a abundância local de macroinvertebrados. Avaliaremos especificamente: 1) se a alimentação é diferente entre as regiões do gradiente e/ou entre as estações; 2) se a abundância relativa de macroinvertebrados é diferente entre estações e/ou regiões onde foram coletados; e 3) se a abundância relativa dos macroinvertebrados no ambiente tem relação com as frequências de ocorrência de cada item na dieta da espécie.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Grande, situada entre os estados de Minas Gerais (MG) e São Paulo (SP), é uma das principais formadoras do Rio Paraná (ANA, 2021). Ocupa uma área total de 143.437,79 km<sup>2</sup>, da qual 60,2% é compreendida no estado mineiro (IPT, 2008). Especificamente no curso do Rio Grande, encontram-se instaladas 12 barragens (IPT, 2008), cinco delas em MG: UHE Camargos, UHE Itutinga, UHE Funil, UHE Furnas e UHE Mascarenhas de Moraes, ordenadas no sentido montante-jusante. Nossa área de estudo compreende desde um trecho de cerca de 10km de rios livres dos rios Grande e Aiuruoca, a montante do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Camargos, até a barragem da UHE Itutinga (Figura 2). O clima da região é classificado como subtropical úmido, com verões úmidos e invernos secos, sendo que a temperatura varia entre 18 e 29°C (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2002) e precipitação média anual entre 1.450 e 1.600mm (BORGES; ABJAUDI, 2016).

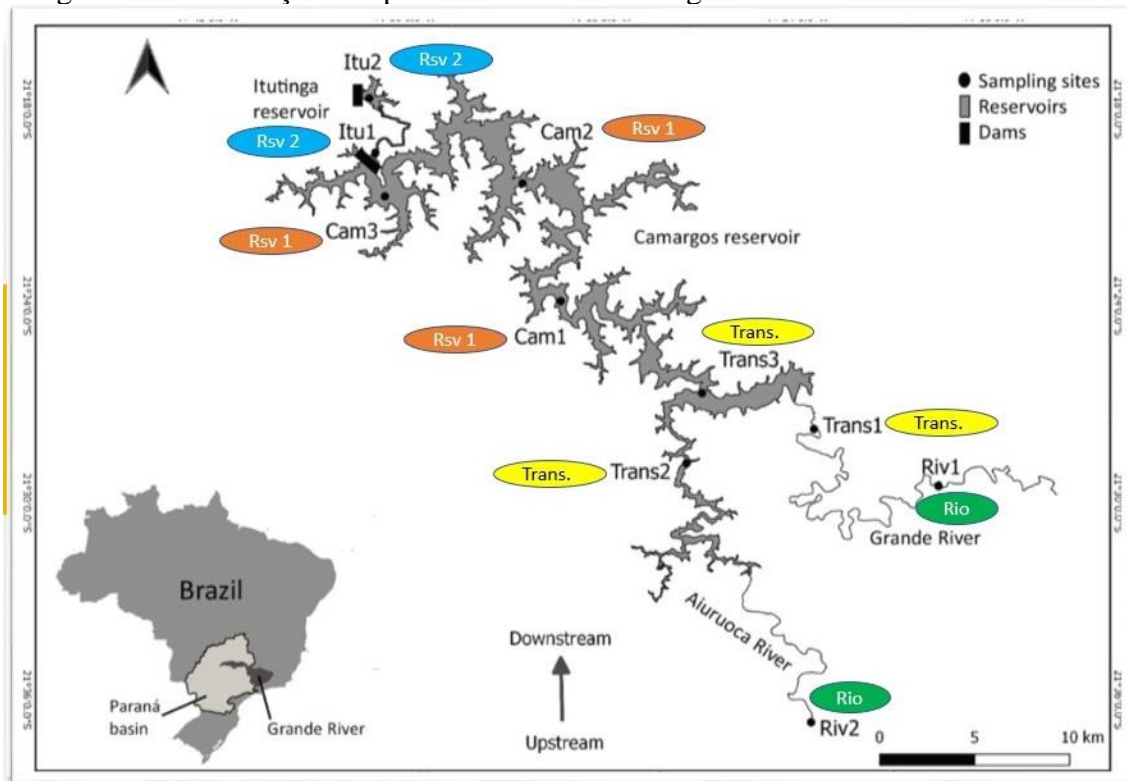
Operando desde 1960, a UHE Camargos possui duas unidades geradoras, com potência instalada de 45 MW e um reservatório de acumulação, de área 73,35 km<sup>2</sup> (CEMIG, 2021a). Logo em seguida, no curso do rio, encontra-se a UHE Itutinga. Operando desde 1955, possui 4 unidades geradoras, com potência instalada de 52 MW e um reservatório do tipo fio d'água, de 1,72 km<sup>2</sup> (CEMIG, 2021b). Ambas as usinas operam de forma coordenada e possuem, juntas, um tempo de residência de 14 dias (SUZUKI; PIRES; POMPEU, 2011), representando as duas primeiras usinas no curso do rio Grande.

### 2.2 Coleta de dados

Selecionamos 10 pontos amostrais (Figura 2), agrupados em quatro regiões: Rio (Riv 1, Riv 2), Transição (Trans 1, Trans 2, Trans 3), Rsv 1 (Cam 1, Cam 2, Cam 3) e Rsv 2 (Itu 1, Itu 2), sendo reservatórios um e dois ou Itutinga e Camargos, respectivamente. As coletas foram realizadas, bimestralmente, entre março de 2019 e janeiro de 2020, totalizando seis campanhas. Para responder às perguntas sobre a influência da sazonalidade, três das coletas foram realizadas no período de Seca (maio, julho e setembro de 2019) e três no de Chuva (março e novembro de 2019 e janeiro de 2020).



Figura 2 - Distribuição dos pontos amostrais ao longo do sistema Rio-Reservatórios.



Legenda: agrupados em quatro regiões: Rio (Riv 1, Riv 2), Transição (Trans 1, Trans 2, Trans 3), Rsv 1 (Cam 1, Cam 2, Cam 3) e Rsv 2 (Itu 1, Itu 2), sendo reservatórios um e dois ou Itutinga e Camargos, respectivamente.

Fonte: Do autor (2022).

Os peixes foram coletados utilizando técnicas de amostragem ativa, com duas peneiras (75 cm de comprimento e 44,5 cm de largura) e rede de arrasto (5 mm entrenós, 5 m de comprimento e 1,5 m de altura) nos 10 pontos amostrais. O esforço amostral foi de dois coletores, sendo 20 minutos de peneira por coletor e cinco arrastos por ponto amostral. Os peixes foram anestesiados com Eugenol 50 mg/L, fixados em solução de formaldeído 10%, conservados em solução de Álcool Etílico 70% e identificados taxonomicamente em laboratório, seguindo chave de identificação (OTA et al., 2018).

Para responder à pergunta sobre a variação na alimentação de *K. moenkhausii*, em todos os pontos e campanhas em que foi coletada, foram analisados pelo menos um e no máximo 10 indivíduos por ponto. Os peixes foram dissecados para remover o estômago e o conteúdo estomacal foi identificado em estereomicroscópio até o menor nível taxonômico possível, registrando presença e ausência dos itens. A frequência de ocorrência (FO) dos itens na dieta de *K. moenkhausii* foi calculada por ponto e coleta, considerando as informações de todos os indivíduos capturados. A FO foi calculada, para cada item, pela razão entre o número de indivíduos que apresentaram o item no estômago e o número de indivíduos analisados.

Para avaliar a relação entre disponibilidade e consumo, macroinvertebrados bentônicos foram amostrados em cada campanha de coleta e em todos os pontos. Utilizamos uma kicknet de malha 250 micrômetros, removendo o sedimento em um transecto de 1,5 m, paralelo à margem, por três vezes em cada ponto (3 amostras). As amostras foram fixadas e conservadas em solução de Álcool Etílico 70% e triadas posteriormente em laboratório, usando um estereomicroscópio. Os invertebrados bentônicos foram identificados até o menor nível taxonômico possível, seguindo chaves de identificação (Elson-Harris, 1990; Benetti et al., 2003; Olifiers et al., 2004; Salles et al., 2004; Manzo, 2005; Merritt et al., 2008; Michat et al., 2008; Segura et al., 2011; Hamada et al., 2014) e foram contabilizados por ponto, somando as informações das três amostras, e posteriormente somados e agrupados por região. Para as análises, agrupamos os táxons até o nível de ordem, quando possível.

### **2.3 Análises estatísticas**

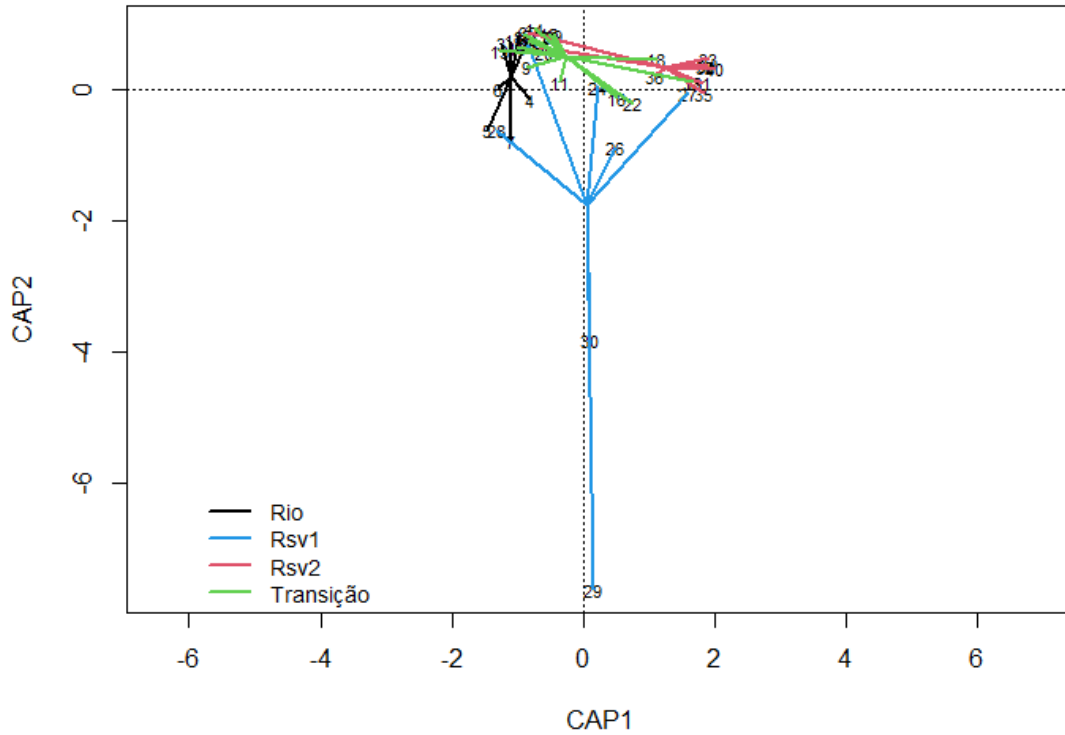
Para testar tanto se a dieta de *K. moenkhausii* quanto se a abundância relativa de macroinvertebrados são diferentes entre as estações e regiões, usamos a análise de variância por permutação (PERMANOVA) e a representação gráfica através da análise canônica de coordenadas principais (CAP). A relação entre a abundância relativa dos macroinvertebrados e a frequência de ocorrência na dieta foi testada pela análise de correlação canônica (CCA) e a significância da CCA foi testada por análise de variância (ANOVA). Todas as análises foram realizadas no programa R versão 4.0.3.

### 3 RESULTADOS

Ao todo, analisamos 388 indivíduos de *K. moenkhausii* e identificamos 29 itens alimentares diferentes, distribuídos em 20 táxons. Os itens mais consumidos, em geral, foram Cladocera, Diptera, Ephemeroptera, Hemiptera e Hymenoptera. Na coleta de macroinvertebrados bentônicos, identificamos 26 táxons. Os itens mais abundantes no ambiente foram Cladocera, Copepoda, Diptera, Ephemeroptera e Oligochaeta. A maior parte dos itens alimentares e invertebrados coletados constituíram insetos aquáticos. Porém, itens alóctones como Acari, Aranae, Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Thysanoptera e Psocoptera também foram encontrados tanto no ambiente quanto nos estômagos avaliados. Bivalvia e Blattodea, que tiveram apenas um indivíduo coletado em Rio e um indivíduo em Rsv2, respectivamente, foram consumidos apenas na região de transição. A FO de Diptera se manteve relativamente alta em todas as regiões, em média 44%, enquanto a de Cladocera aumentou consideravelmente e gradualmente entre as regiões, saindo de 5,84% em Rio para 70,6% em Rsv2 (Tabela 1).

A dieta de *K. moenkhausii* foi diferente entre as regiões ( $p < 0.001$ ) (Figura 3) mas não entre estações ( $p = 0.183$ ) (Figura 4). Já a abundância dos macroinvertebrados diferiu entre as regiões ( $p = 0.009$ ) (Figura 5) e entre as estações ( $p = 0.005$ ) (Figura 6). Itens como Bivalvia, Blattodea, Gastropoda e Plecoptera foram encontrados apenas na região de transição. Diptera e Cladocera, apesar de presentes em todas as regiões, também apresentaram abundância consideravelmente maior nesta região (Tabela 1).

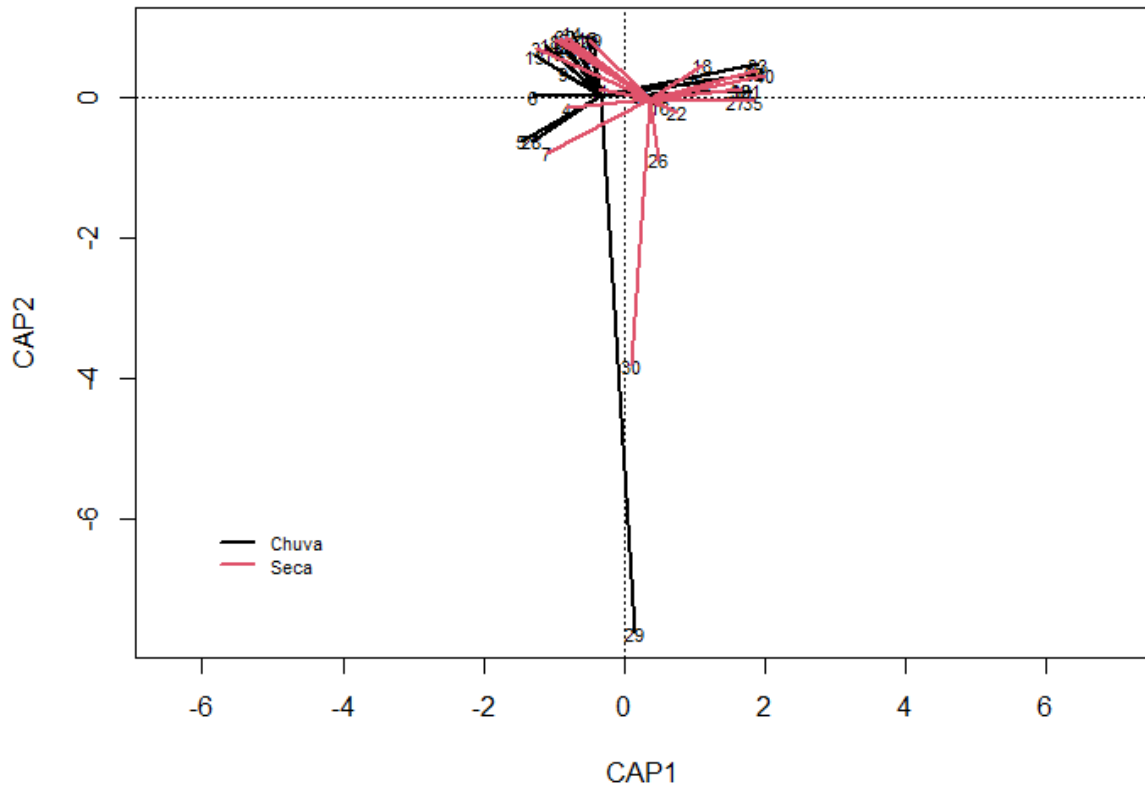
Figura 3 - Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) da relação entre dieta de *Knodus moenkhausii* e região de coleta dentro do sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG.



Legenda: Os números no interior da figura são referentes a identificação dos dados na matriz, onde cada linha tem um número.

Fonte: Do autor (2022).

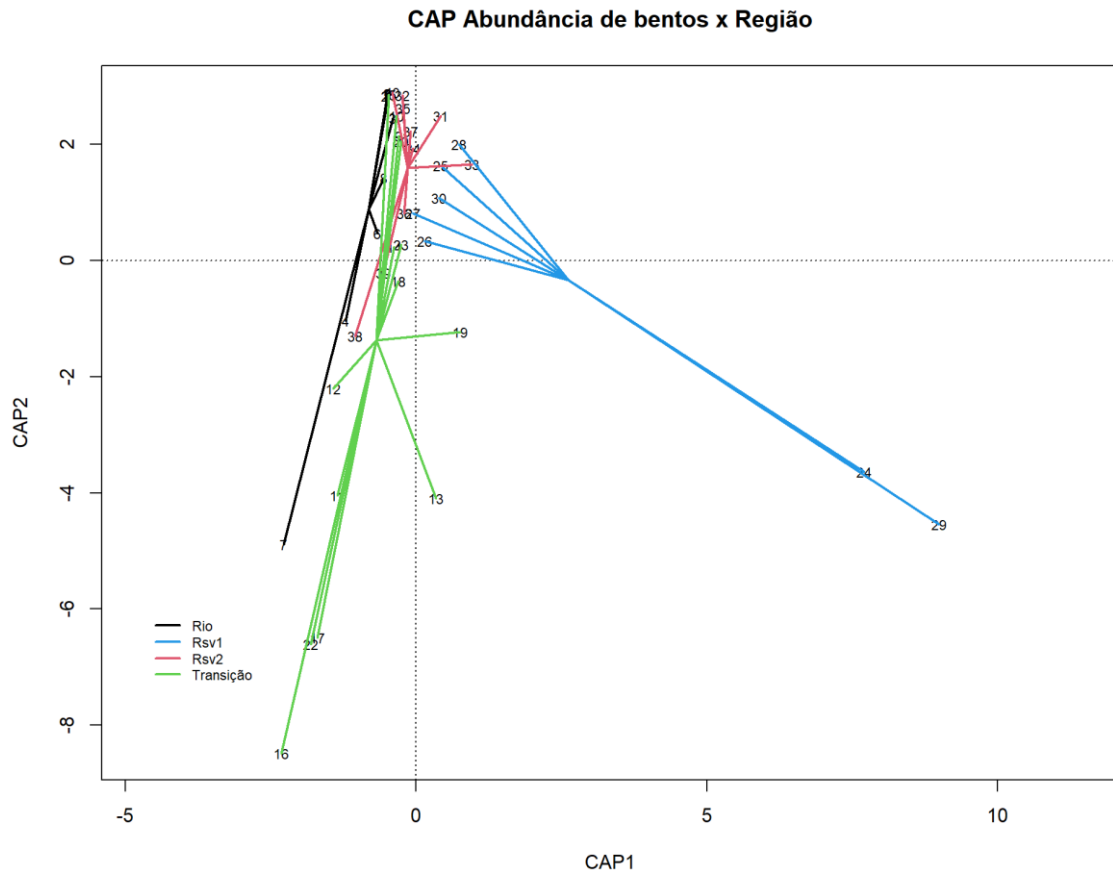
Figura 4 - Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) da relação entre dieta de *Knodus moenkhausii* e estação de coleta (Chuva ou Seca) dentro do sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG.



Legenda: Os números no interior da figura são referentes a identificação dos dados na matriz, onde cada linha tem um número.

Fonte: Do autor (2022).

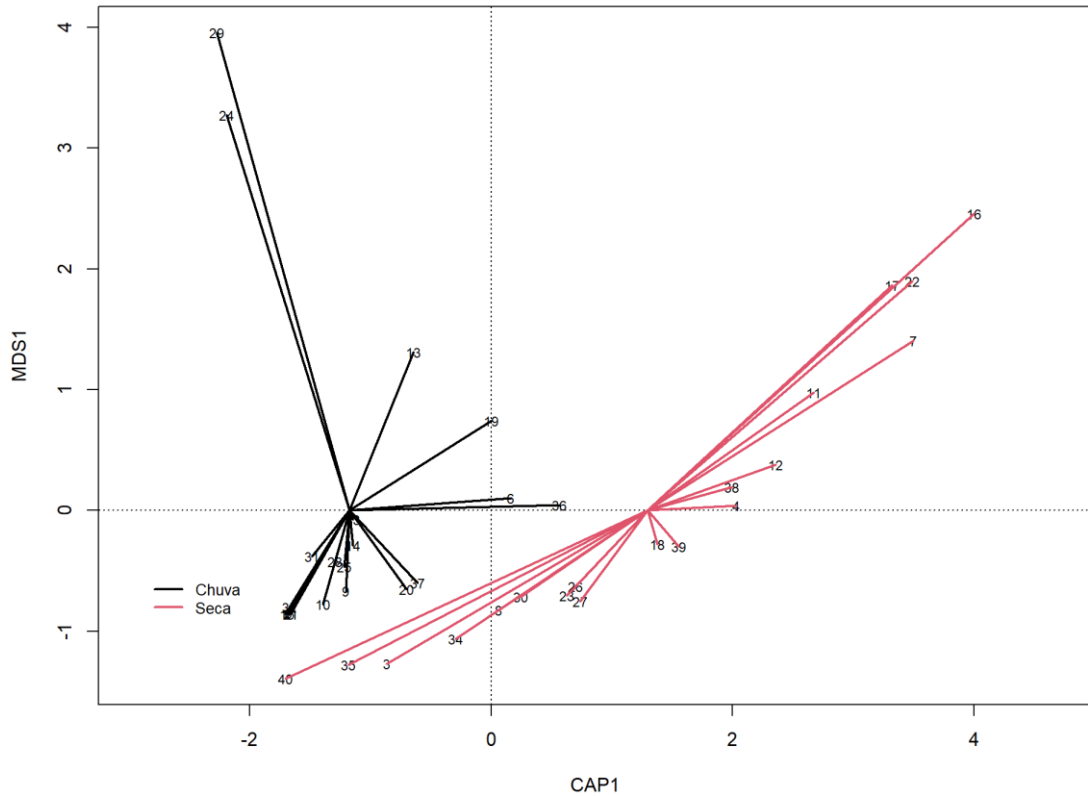
Figura 5 - Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) da relação entre abundância de macroinvertebrados no ambiente e região de coleta dentro do sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG.



Legenda: Os números no interior da figura são referentes a identificação dos dados na matriz, onde cada linha tem um número.

Fonte: Do autor (2022).

Figura 6 - Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) da relação entre abundância de macroinvertebrados no ambiente e estação de coleta (Chuva ou Seca) dentro do sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG.



Legenda: Os números no interior da figura são referentes a identificação dos dados na matriz, onde cada linha tem um número.

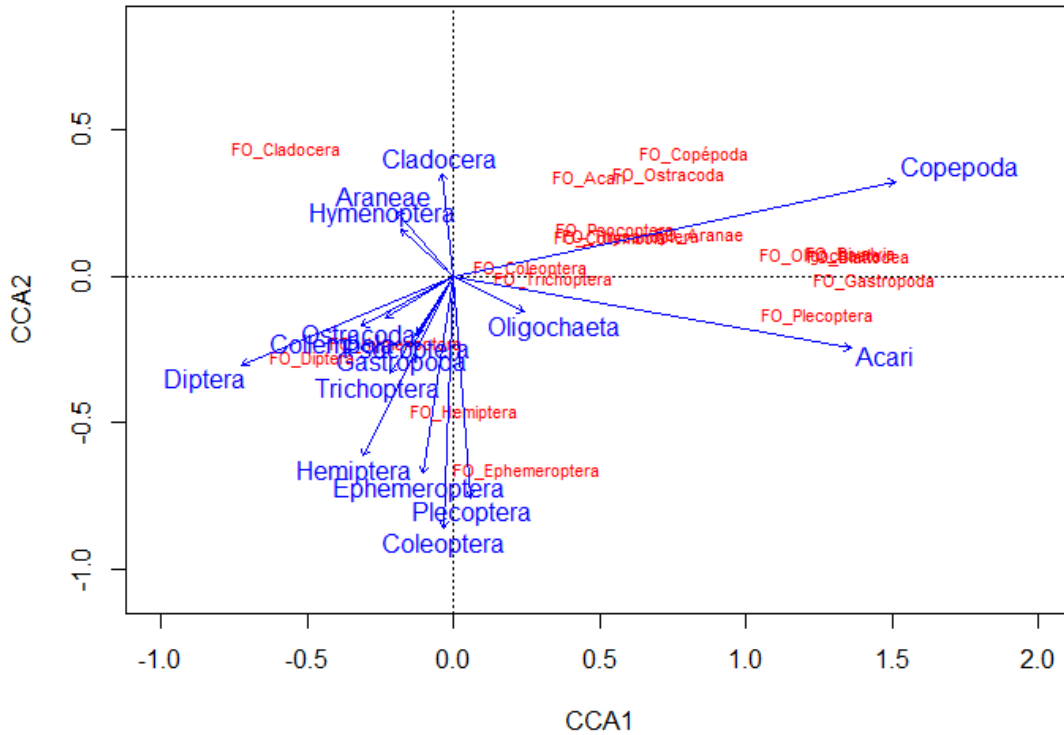
Fonte: Do autor (2022).

A abundância dos macroinvertebrados variou mais entre Chuva e Seca nas regiões de Transição e Rsv2 quando comparados com as regiões Rio e Rsv1. Em Rio e Transição, apenas Diptera aumentou expressivamente a abundância entre Chuva e Seca, os demais itens ou permaneceram com valores aproximados ou diminuíram. Em Rsv1 nenhum item apresentou aumento expressivo na abundância entre Chuva e Seca, os valores também se mantiveram aproximados ou diminuíram. No caso de Rsv2, nenhum item diminuiu expressivamente entre Chuva e Seca, pelo contrário, os itens permaneceram com mesmos valores ou aumentaram, como Cladocera, Copepoda, Diptera, Hymenoptera e Trichoptera. (Tabela 2).

A relação entre a abundância relativa dos macroinvertebrados e a frequência de ocorrência na dieta de *K. moenkhausii* não foi significativa ( $p=0.058$ ), embora o valor da estatística tenha sido próximo de significativo (Figura 7). Ainda assim, Diptera, Cladocera, Ephemeroptera e Hemiptera foram encontrados no ambiente e nos estômagos em todas as

regiões e estações, sendo Diptera majoritariamente o mais abundante no ambiente e mais ingerido pela espécie.

Figura 7 - Análise de correlação canônica (CCA) da relação entre a abundância relativa dos macroinvertebrados e a frequência de ocorrência na dieta de *Knodus moenkhausii* dentro de um sistema Rio-Reservatórios em cascata, na bacia do Rio Grande, em MG.



Legenda: Em azul, as flechas representam os dados de abundância de cada táxon. Em vermelho, as flechas representam os dados de frequência de ocorrência nos estômagos.

Fonte: Do autor (2022).



Tabela 1 - Descrição da frequência de ocorrência (FO) nos estômagos de *Knodus moenkhausii* e abundância (AB) dos macroinvertebrados nas quatro regiões avaliadas.

	Frequência de Ocorrência nos estômagos (%)				Abundância no ambiente			
	Rio	Trans	Rsv1	Rsv2	Rio	Trans	Rsv1	Rsv2
Acari	2,08	2,8	8,67	0,83	23	184	46	101
Araneae	0	1,11	7,67	0	0	2	1	2
Bivalvia	0	0,56	0	0	1	0	0	0
Blattodea	0	0,56	0	0	0	0	0	1
Cladocera	5,84	32,4	54,3	70,6	1	783	173	267
Coleoptera	2,27	3,76	8,67	4,02	80	6	1	33
Collembola	4,17	1,54	1	4,36	2	1	6	8
Copepoda	0	1,26	1	0,83	4	2829	227	829
Diptera	44,7	40,6	57,7	33,6	963	750	740	2301
Ephemeroptera	13,7	3,33	13	1,59	303	12	24	118
Gastropoda	2,08	0	0	0	0	0	0	3
Hemiptera	8,33	6,54	14,3	2,35	13	34	11	710
Hymenoptera	5,21	4,23	21	9,92	0	6	2	33
Trichoptera	5,84	5,43	0	0,76	117	1	4	70
Oligochaeta	2,08	0,56	9,57	0	140	214	128	241
Thysanoptera	3,87	0,56	17,3	0,76	1	0	0	1
Ostracoda	0	2,5	1	0,83	0	1	0	1
Plecoptera	1,79	0	2	0	4	0	0	0
Psocoptera	0	0	22	0	0	0	1	2

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 2 - Descrição da abundância (AB) dos macroinvertebrados nas quatro regiões avaliadas, nas estações Chuva e Seca.

	Rio		Trans		Rsv1		Rsv2	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
Acari	10	13	156	28	33	13	60	41
Araneae	0	0	0	2	0	1	0	2
Bivalvia	0	1	0	0	0	0	0	0
Blattodea	0	0	0	0	0	0	0	1
Cladocera	0	1	740	43	139	34	17	250
Coleoptera	40	40	2	4	1	0	18	15
Collembola	1	1	0	1	6	0	6	2
Copepoda	2	2	2418	411	169	58	198	631
Diptera	159	804	165	585	333	407	303	1998
Ephemeroptera	168	135	9	3	11	13	42	76
Gastropoda	0	0	0	0	0	0	1	2
Hemiptera	12	1	16	18	3	8	375	335
Hymenoptera	0	0	0	6	0	2	1	32
Trichoptera	62	55	0	1	3	1	1	69
Oligochaeta	96	44	180	34	49	79	136	105
Thysanoptera	1	0	0	0	0	0	1	0
Ostracoda	0	0	0	1	0	0	0	1
Plecoptera	2	2	0	0	0	0	0	0
Psocoptera	0	0	0	0	1	0	2	0

Fonte: Do autor (2022).

## 4 DISCUSSÃO

A região em que os peixes foram coletados interferiu na composição da dieta de *K. moenkhausii*, sem influência sazonal. No geral, a relação entre abundância no ambiente e frequência de ocorrência nos estômagos não foi significativa. Ainda assim, alguns itens foram encontrados tanto no ambiente quanto nos estômagos em todas as regiões e estações, e os itens mais abundantes no ambiente também foram mais frequentes nos estômagos.

Insetos aquáticos e terrestres foram de grande importância na composição da dieta de *K. moenkhausii*, como já registrado por Ceneviva-Bastos e Casatti (2007) e Carvalho et al., (2019). No segundo trabalho, os autores avaliaram a dieta sob diferentes condições ambientais, comparando ambientes próximos do natural e outros impactados principalmente por ações antrópicas. Assim como encontramos, *K. moenkhausii* foi capaz de explorar diferentes itens alimentares de acordo com disponibilidade, preferência e abundância. Ceneviva-Bastos e Cassati (2007) ressaltaram que a espécie pode apresentar preferência por itens energeticamente mais importantes entre os disponíveis, ao passo que muito provavelmente se alimentaria de um determinado item na ausência de outro de maior preferência.

Apesar de mudanças sazonais da dieta terem sido amplamente retratadas para peixes, especialmente para caracídeos (ESTEVES, 1996; LOBÓN CERVÍÁ & BENNEMANN, 2000; ORTAZ, 2001; MAZZONI; REZENDE, 2003), aqui vimos que a sazonalidade não foi um fator forte o suficiente para alterar a dieta de *K. moenkhausii*. Ainda que a estação não tenha relação significativa com a dieta, geralmente os períodos de chuva aumentam o volume dos reservatórios, provocando a inundação de áreas marginais (BONATO et. al., 2012) e incorporando recursos alóctones (HAHN; FUGI, 2007), uma das prováveis razões pelas quais a abundância de macroinvertebrados foi diferente entre as estações. A abundância desses grupos considerados como recursos alóctones e frequência de ocorrência nos estômagos mostra a importância da sua incorporação no ambiente como alimento para essa espécie (CENEVIVA-BASTOS; CASATTI, 2007). A abundância dos macroinvertebrados não teve relação clara com a dieta de *K. moenkhausii*. Ainda assim, itens mais abundantes, como Cladocera, Diptera e Ephemeroptera foram os mais consumidos, reforçando o caráter oportunista da espécie.

Mais uma vez, *Knodus moenkhausii* apresenta hábitos alimentares generalistas e é capaz de se adaptar ao que é ofertado no ambiente. Já foi retratada a capacidade dessa espécie em adaptar a dieta em ambientes com diferentes tipos de uso do solo (DE CARVALHO et al., 2019), e agora vimos que é capaz de adaptar também de acordo com mudanças na estrutura do

ambiente em um gradiente Rio-cascata de reservatórios. Essa pode ser uma das razões que justifique a ampla distribuição e abundância da espécie nesses ambientes.

## REFERÊNCIAS

ABUJANRA, F.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. *Effects of the flood regime on the body condition of fish of different trophic guilds in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. Brazilian Journal of Biology*, v. 69, n. SUPPL. 2, p. 469–479, 2009. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000300003> >. Acesso em: 2022.

BARRETT, S. *Why reproductive systems matter for the invasion biology of plants. In: Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton*. Oxford: Wiley, 2011. p. 195–210.

BELLARD, C.; CASSEY, P.; BLACKBURN, T. M. *Alien species as a driver of recent extinctions. Biology Letters*, v. 12, n. 4, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0623> >. Acesso em: 2022.

BENETTI, C. J., J. A. R. CUETO & G. L. FIORENTIN. Gêneros de *Hyadradephaga* (Coleoptera: Dytiscidae, Gyrinidae, Haliplidae, Noteridae) citados para o Brasil, com chaves para identificação. *Biota Neotropica*, v. 3, n. 1, 2003. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1676-06032003000100010> >. Acesso em: 2022.

BRAGA, R. R.; BORNATOWSKI, H.; VITULE, J. R. S. *Feeding ecology of fishes: An overview of worldwide publications. Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 22, n. 4, p. 915–929, 2012. Disponível em: < [https://www.academia.edu/5176450/Feeding\\_ecology\\_of\\_fishes\\_an\\_overview\\_of\\_worldwide\\_publications](https://www.academia.edu/5176450/Feeding_ecology_of_fishes_an_overview_of_worldwide_publications) >. Acesso em: 2022.

BRANDT. *Acoustic assessment of fish abundance and distribution. In: MURPHY, R. B.; WILLIS, D. W. Fisheries techniques. American Fisheries Society*, 1996. 732p.

BRODEUR, R. D. et al. *New perspectives on the feeding ecology and trophic dynamics of fishes. Environmental Biology of Fishes*, v. 100, n. 4, p. 293–297, 2017. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s10641-017-0594-1> >. Acesso em: 2022.

CEMIG. UHE Camargos. 2021a. Disponível em: < <https://www.cemig.com.br/usina/uhe-camargos/> >. Acesso em: 2022.

CEMIG. UHE Itutinga. 2021b. Disponível em: < <https://www.cemig.com.br/usina/uhe-itutinga/> >. Acesso em: 2022.

CENEVIVA-BASTOS, M.; CASATTI, L. Oportunismo alimentar de *Knodus moenkhausii* (Teleostei, Characidae): uma espécie abundante em riachos do noroeste do Estado de São Paulo, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 97, n. 1, p. 7–15, 2007. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0073-47212007000100002> >. Acesso em: 2022.

CENEVIVA-BASTOS, M.; TABOGA, S. R.; CASATTI, L. *Microscopic Evidence of the Opportunistic Reproductive Strategy and Early Sexual Maturation of the Small-Sized*

*Characin Knodus moenkhausii* (Characidae, Pisces). **Journal of Veterinary Medicine Series C: Anatomia Histologia Embryologia**, v. 44, n. 1, p. 72–80, 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/ahe.12112> >. Acesso em: 2022.

DAVIES, P. M.; BUNN, S. E.; HAMILTON, S. K. *Primary production in tropical streams and rivers*. **Tropical Stream Ecology**, p. 23–42, 2008. Disponível em: < <https://research-repository.uwa.edu.au/en/publications/primary-production-in-tropical-streams-and-rivers> >. Acesso em: 2022.

DE CARVALHO, D. R. et al. *Stable isotopes and stomach content analyses indicate omnivorous habits and opportunistic feeding behavior of an invasive fish*. **Aquatic Ecology**, v. 53, n. 3, p. 365–381, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09695-3> >. Acesso em: 2022.

DRAKE, J. M.; LODGE, D. M. *Global hot spots of biological invasions: Evaluating options for ballast-water management*. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 271, n. 1539, p. 575–580, 2004. Disponível em: < <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2629> >. Acesso em: 2022.

ELSON-HARRIS, M. M. *Keys to the immature stages of some Australian Ceratopogonidae (Diptera)*. **Australian Journal of Entomology**, v. 29, p. 267–275, 1990. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1990.tb00361.x> >. Acesso em: 2022.

GANDINI, C. V. et al. *Estudo da alimentação dos peixes no rio Grande à jusante da usina hidrelétrica de Itutinga, Minas Gerais, Brasil*. Iheringia. **Série Zoologia**, v. 102, n. 1, p. 56–61, 2012. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0073-47212012000100008> >. Acesso em: 2022.

HAHN, N. S.; FUGI, R. *Alimentação de peixes em reservatórios brasileiros: alterações e consequências nos estágios iniciais do repesamento*. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 04, p. 469–480, 2007. Disponível em: < <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2684354.pdf> >. Acesso em: 2022.

HAMADA, N., J. L. NESSIMIAN & R. B. QUERINO. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2014. 724p.

**IPT. Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) - SP/MG**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov>>. Acesso em: 2022.

MANZO, V. *Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data*. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 40, p. 201–208, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/01650520500140619> >. Acesso em: 2022.

MAZZONI, R.; REZENDE, C. F. *Seasonal diet shift in a Tetragonopterinae (Osteichthyes, Characidae) from the Ubatiba River, RJ, Brazil*. **Brazilian journal of biology**, v. 63, n. 1, p. 69–74, 2003. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1519-69842003000100009> >. Acesso em: 2022.

MERRITT, R. W., K. W. CUMMINS & M. B. BERG. *An introduction to the aquatic insects of North American*. 4 Ed. Kendal: Hunt Publishing Company, 2008. 1158p. 2008.

MICHAT, M. C., M. ARCHANGELSKY & A. O. BACHMANN. *Claves genéricas para la identificación de las larvas de Dytiscidae de la Argentina (Coleoptera: Adephaga)*. *Revista de la Sociedad Entomológica*, v. 67, p. 17–36, 2008. Disponível em: < [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0373-56802008000200003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0373-56802008000200003) >. Acesso em: 2022.

MONTEIRO, A. DE S. et al. Alterações na disponibilidade de recursos alimentares na dieta das principais espécies de peixes. *In: Reservatório de peixe angical: bases ecológicas para o manejo da ictiofauna*. [s.l: s.n.]. p. 77–86.

OLIFIERS, M. H., L. F. M. DORVILLE', J. L. NESSIMIAN & N. HAMADA. *A key to Brazilian genera of Plecoptera (Insecta) based on nymphs*. *Zootaxa*, v. 651, p. 1–15, 2004. Disponível em: < <https://doi.org/10.11646/zootaxa.651.1.1> >. Acesso em: 2022.

OLIVEIRA, A. G. et al. *Long-term effects of flow regulation by dams simplify fish functional diversity*. *Freshwater Biology*, v. 63, n. 3, p. 293, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/fwb.13064> >. Acesso em: 2022.

OTA, R. R. et al. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: Revised, annotated and updated. *Neotropical Ichthyology*, v. 16, n. 2, p. 1–111, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170094> >. Acesso em: 2022.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 13, n. 3, p. 243–249, 2002. Disponível em: < <https://hess.copernicus.org/articles/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.html> >. Acesso em: 2022.

QIN, J.; XIE, S.; CHENG, F. *Broad diet composition and seasonal feeding variation facilitate successful invasion of the shimofuri goby (Tridentiger bifasciatus) in a water transfer system*. *Water (Switzerland)*, v. 12, n. 12, p. 1–9, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/w12123411> >. Acesso em: 2022.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020.

RAHEL, F. J. *Homogenization of freshwater faunas*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 33, p. 291–315, 2002. Disponível em: < <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150429> >. Acesso em: 2022.

SALLES, F. F.; DA-SILVA, E. R.; SERRÃO, J. E.; FRANCISCHETTI, C. N. *Systematics, Morphology and Physiology. Baetidae (Ephemeroptera) na região sudeste do Brasil: novos registros e chave para os gêneros no estágio ninfal*. *Neotropical Entomology*, v. 33, p. 725–735 2004. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2004000600010> >. Acesso em: 2022.

SEGURA, M. O., F. VALENTE-NETO & A. A. FONSECA-GESSNER. *Family level key to aquatic Coleoptera (Insecta) of São Paulo State, Brazil*. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 393–412, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032011000100037> >. Acesso em: 2022.

SIMBERLOFF, D. et al. *Impacts of biological invasions: What's what and the way forward*. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 28, n. 1, p. 58–66, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013> >. Acesso em: 2022.

SUZUKI, F. M.; PIRES, L. V.; POMPEU, P. S. *Passage of fish larvae and eggs through the Funil, Itutinga and Camargos reservoirs on the upper Rio Grande (Minas Gerais, Brazil)*. **Neotropical Ichthyology**, v. 9, n. 3, p. 617–622, 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1679-62252011000300014> >. Acesso em: 2022.

TRICARICO, E.; JUNQUEIRA, A. O. R.; DUDGEON, D. *Alien species in aquatic environments: a selective comparison of coastal and inland waters in tropical and temperate latitudes*. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 26, n. 5, p. 872–891, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1002/aqc.2711> >. Acesso em: 2022.

**CAPÍTULO 3: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO TAMANHO DE  
PEIXES EM UM SISTEMA RIO-RESERVATÓRIOS EM CASCATA**



## 1 INTRODUÇÃO

Enquanto no mundo apenas 16,1% da matriz elétrica é de origem hidráulica (IEA, 2021), no Brasil, atualmente, 65,2% da matriz vem de usinas movidas pela força dos rios (BEN, 2021). Não é surpresa, então, que temos 739 centrais geradoras, 425 pequenas centrais e 219 usinas hidrelétricas em operação no país (ANEEL, 2021) e muitos rios barrados ou sob influência de barramentos (AGOSTINHO; PELICICE; GOMES, 2008). Apesar da importância social e econômica desses empreendimentos, seu estabelecimento gera consequências no ambiente aquático (AGOSTINHO; PELICICE; GOMES, 2008).

Barramentos estão entre as principais atividades humanas que impactam uma bacia hidrográfica, sendo responsáveis por intensas alterações físicas, químicas e biológicas nos cursos d'água (BAXTER, 1977). Principalmente, mudam a dinâmica natural dos rios, alteram o fluxo de lótico para lêntico, a disponibilidade e qualidade de habitats e regulam o regime de cheias. Afetam, conseqüentemente, o complexo funcionamento das comunidades que habitam esses ambientes (AGOSTINHO; PELICICE; GOMES, 2008), especialmente a de peixes (BARLETTA et al., 2010).

Atualmente, é possível avaliar aspectos como distribuição, abundância e padrões de movimento de peixes em uma área sem interferência direta, com uso de novas tecnologias. A técnica de utilização de ondas sonoras para detectar organismos na coluna d'água é conhecida como hidroacústica, eco-sondagem ou acústica subaquática (BRANDT, 1996; LUCAS; BARAS, 2000). Esta já é uma ferramenta bem estabelecida para o estudo de peixes em ambientes marinhos (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005), mas tem sido explorada também no estudo de peixes de água doce (CASARIM, 2014; LOURES; POMPEU, 2015; PRADO; POMPEU, 2017; BRANDT, 1996; LYONS; LUCAS, 2002).

Sabendo que a formação de um reservatório pode empobrecer e desestabilizar as comunidades de peixes (AGOSTINHO, A.A.; MIRANDA, L.E.; BINI, L.M.; GOMES, L.C.; THOMAZ, S.M.; SUZUKI, 1999), o objetivo deste trabalho é avaliar se existe diferença entre o tamanho médio dos peixes ao longo do tempo e nas diferentes regiões do gradiente longitudinal entre dois reservatórios em cascata.

## 2 METODOLOGIA

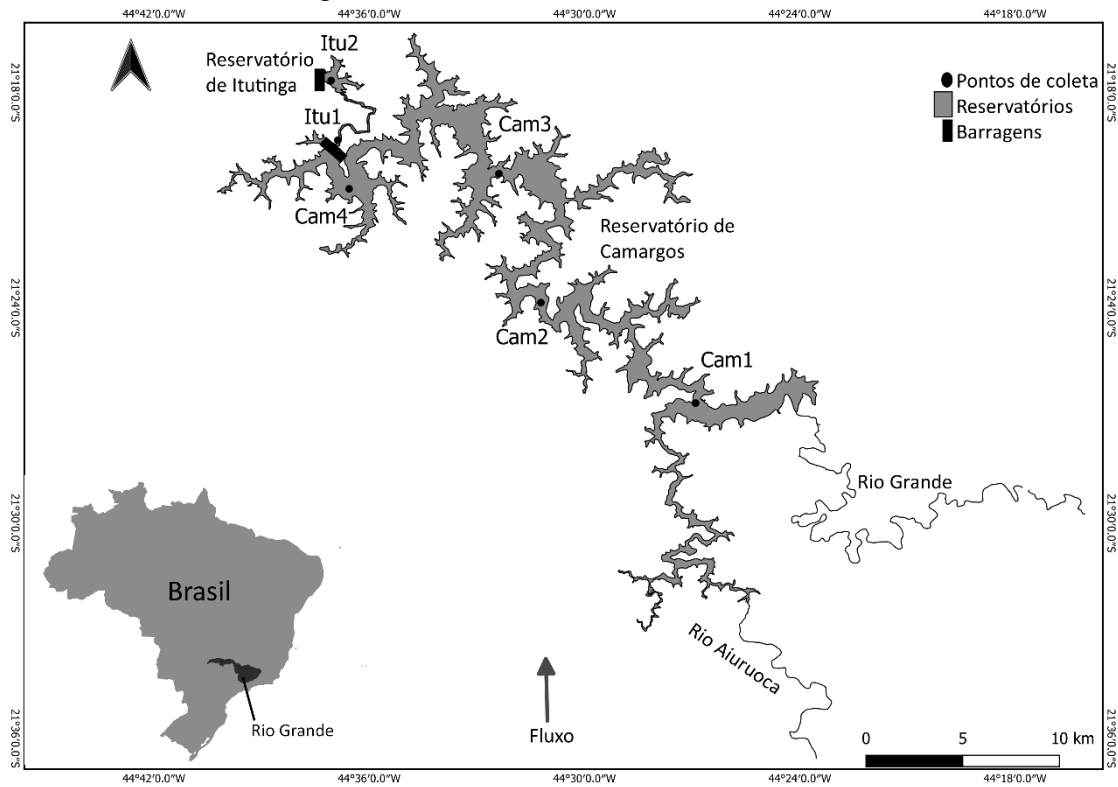
### 2.1 Área de estudo

A bacia Hidrográfica do Rio Grande é considerada uma sub-bacia da bacia do Rio Paraná. Com 60,2% compreendida em Minas Gerais, tem mais 140 mil km<sup>2</sup> de área de drenagem total e 12 barragens instaladas no curso principal. Cinco delas no estado mineiro: UHE Camargos, UHE Itutinga, UHE Funil, UHE Furnas e UHE Mascarenhas de Moraes (IPT, 2008), de montante para jusante, respectivamente. O presente estudo foi desenvolvido nos reservatórios das duas primeiras barragens a montante no curso do Rio Grande, UHE Camargos e UHE Itutinga.

Operando desde 1960, a Usina Hidrelétrica (UHE) Camargos possui duas unidades geradoras, com potência instalada de 45 MV e um reservatório de acumulação, de área 73,35 km<sup>2</sup> (CEMIG, 2021a). Logo em seguida, no curso do rio, encontra-se a UHE Itutinga. Operando desde 1955, possui 4 unidades geradoras, com potência instalada de 52 MV e um reservatório do tipo fio d'água, de 1,72 km<sup>2</sup> (CEMIG, 2021b). Camargos e Itutinga formam a primeira cascata de reservatórios no rio Grande, operam de forma coordenada e possuem, juntas, um tempo de residência de 14 dias (SUZUKI; PIRES; POMPEU, 2011). O reservatório de Camargos recebe águas dos rios Aiuruoca e Grande, ambos ainda livres, enquanto o reservatório de Itutinga não recebe tributários.

Ao todo, selecionamos seis pontos amostrais, distribuídos entre os reservatórios de Camargos e Itutinga (Figura 8). O primeiro ponto (Trans 3) é na região de confluência dos rios Grande e Aiuruoca, que também é uma região de transição entre rio e reservatório. O fluxo nesse ponto varia junto com o nível dos rios e a estação, ora mais próximo de lântico, na estação seca, ora mais próximo de lótico, na estação chuvosa. Três pontos foram distribuídos ao longo do reservatório de Camargos, sendo dois no corpo do reservatório (Cam 1 e Cam 2) e um imediatamente a montante da barragem (Cam 3). As variações nesses pontos são mais relacionadas à profundidade, com a oscilação de nível do reservatório, e o fluxo é majoritariamente lântico. Imediatamente a jusante de Camargos, onde a água é mais turbulenta, com a saída de água das turbinas, o ponto Itu 1. Por último no gradiente longitudinal, Itu 2, no reservatório de Itutinga, imediatamente a montante da UHE Itutinga, onde praticamente não há variação de nível, já que as usinas operam de forma coordenada.

Figura 8 - Distribuição dos pontos amostrais ao longo do sistema Rio-Reservatórios no Alto rio Grande. Os pontos foram agrupados em: Camargos (Cam1, Cam2, Cam3 e Cam4) e Itutinga (Itu1 e Itu2).



Fonte: Do autor (2022).

## 2.2 Coleta de dados

Ao todo, realizamos 12 amostragens entre maio de 2019 e dezembro de 2021, sendo seis na estação chuvosa (outubro a março) e seis na estação seca (abril a setembro). As coletas foram realizadas em dois períodos em cada ponto, sendo um diurno, preferencialmente pela manhã, e outro noturno.

Para as amostragens hidroacústicas utilizamos um barco de alumínio equipado, na lateral, com um transdutor digital DT-X split beam, com feixe de 120 kHz e abertura circular de visualização de 6°. O feixe do sonar foi posicionado verticalmente para o fundo e cerca de 0,5m abaixo da superfície. Também no barco, uma ecossonda BioSonics Científica Digital DT-X e um sistema de posicionamento global diferencial (DGPS) de alta sensibilidade (17X NMEA 0183HVS - Garmin).

Foram emitidos dez pulsos (pings) por segundo (10pps) e a duração de cada pulso foi de 0,3 m/s, maximizando a visualização de alvos individuais e minimizando ruídos (KRUMME; SAINT-PAUL, 2003). A amostragem foi realizada com o barco em movimento, velocidade média de 7 km/h, seguindo trajeto previamente desenhado. A configuração do

equipamento, além de número, desenho e distância de transectos foram definidos com base na literatura (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005; PARKER-STETTER et al., 2009). Em cada ponto, coletamos informações de pH e temperatura da água usando uma sonda multiparâmetros YSI 556.

Antes do início das prospecções, as informações de pH e temperatura foram inseridas no software utilizado para recepção, visualização e armazenamento dos dados, Visual Acquisition, versão 6.0 (Biosonic Inc., 2010). O posterior processamento e tratamento dos dados foi realizado no software Echoview, versão 4.8, Myriax, onde extraímos informações de tamanho (*Target Strength* - TS), profundidade e número de peixes (*Fish track*). A calibragem do equipamento foi realizada utilizando esfera de carboneto de tungstênio, seguindo recomendações de Foote (1987) e Biosonic Inc (2004).

Para ser considerado um *fish track* (traço de peixe - TP) é necessário a detecção de, no mínimo, três ecos individuais e que não estejam separados por mais do que três pings entre si. O valor de *Target Strength* (força do sinal - TS), que representa a reflexão acústica, é uma medida logarítmica da quantidade de energia que é transmitida pela ecosonda e é refletida como um eco ao encontrar um alvo (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005). Essa medida tem relação direta com o tamanho do peixe, quanto maior o TS, maior o tamanho do peixe. Neste trabalho, calibramos a ecosonda para computar alvos com valores de TS entre -60 e -25 dB, intervalo de reflexões acústicas registrados para peixes (BRANDT, 1996). Para cada peixe, calculamos o valor médio de reflexão acústica (TS médio) e esse cálculo será usado como indicativo do tamanho dos peixes.

### **2.3 Análises estatísticas**

Para avaliar se existe influência da região, estação ou da interação entre as duas variáveis sobre o tamanho médio dos peixes utilizamos a Análise de Variância (ANOVA) Fatorial.

A diferença do tamanho médio dos peixes nas regiões entre Seca e na Chuva foi testada, usando os valores de TS médio, através de Análise de Variância (ANOVA) e teste de Kruskal-Wallis. Para identificar quais regiões diferiram, usamos o teste de Dunn. A visualização da distribuição dos valores de TS médio foi feita através de histograma e gráficos de Boxplot. Todas as análises foram realizadas no programa R versão 4.0.3.

### 3 RESULTADOS

Identificamos um total de 74.596 traços de peixe em toda a área amostrada. Em todos os pontos, o número de TP foi consideravelmente maior no período noturno, na maioria das amostragens. Os maiores valores de TP foram registrados em Cam4 e os menores valores foram registrados em Itu2, os dois pontos imediatamente a montante das barragens de Camargos e Itutinga, respectivamente. Os maiores valores de TS médio, foram registrados mais próximos da área de transição (Cam2) e os menores também à montante da barragem de Itutinga (Itu2) (Tabela 3). A grande maioria dos traços de peixe apresentaram TS médio em torno de -45dB e -60dB, aproximadamente 1,6 a 10cm de comprimento. Ainda, quase metade de todos os traços de peixe detectados apresentaram valores entre -50dB e -55dB, aproximadamente 2,9 a 5,3 cm de comprimento (Figura 9).

A estação influenciou o tamanho médio dos peixes ( $p < 0.001$ ), assim como o ponto de coleta ( $p < 0.001$ ) e a interação entre as duas variáveis ( $p < 0.001$ ). Através do teste de Dunn, vimos que na Seca (Tabela 4) todos os pontos no reservatório de Camargos foram diferentes dos pontos de Itutinga ( $p < 0.05$ ) e os pontos de Itutinga também foram diferentes entre si nas duas estações ( $p < 0.05$ ). Na Chuva (Tabela 5), com exceção de Cam4 e Itu1 ( $p = 0.345$ ), todos os pontos foram diferentes entre si (Figura 10).

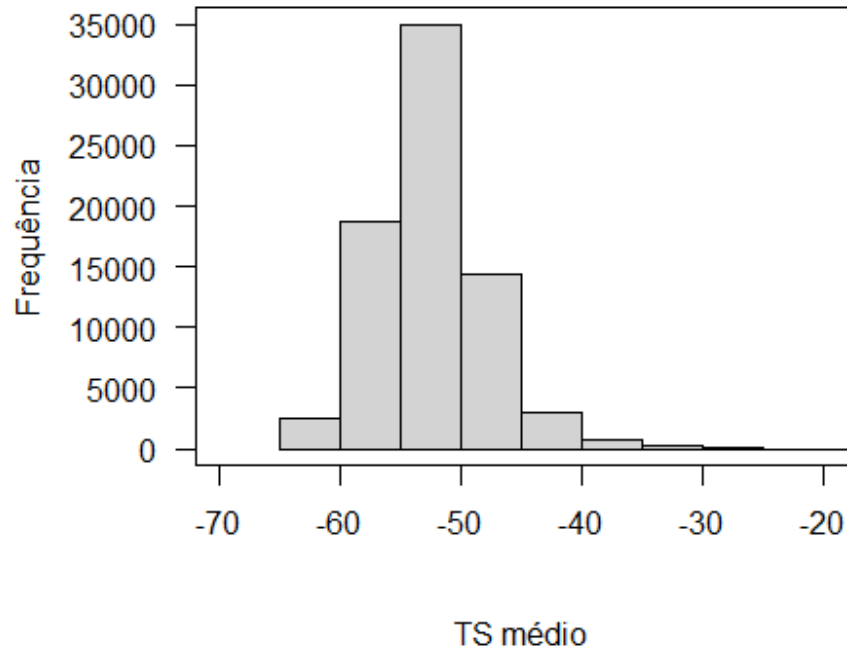
Tabela 3 - Número de traços de peixes (*Fish Track*) visualizados por campanha e por período através da ecossondagem nas 12 coletas realizadas nos reservatórios de Camargos e Itutinga.

Mês	Período	Pontos amostrais					
		Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Itu1	Itu2
Maio/2019	Dia	167	41	214	205	32	44
	Noite	2.072	867	2.471	2.193	3.709	416
Julho/2019	Dia	93	73	79	99	21	18
	Noite	1.370	1.398	1.355	934	1.970	274
Setembro/2019	Dia	230	88	116	166	NA	19
	Noite	2.162	359	188	935	NA	248
Novembro/2019	Dia	NA	1.188	740	1.510	23	23
	Noite	NA	580	668	2.033	768	664
Janeiro/2020	Dia	144	231	391	667	51	93
	Noite	306	231	218	1.402	1.038	469
Setembro/2020	Dia	1438	199	160	127	72	16
	Noite	1.645	824	992	459	547	272
Novembro/2020	Dia	NA	NA	1.462	793	35	130
	Noite	NA	NA	623	635	508	586
Janeiro/2021	Dia	525	291	547	730	315	226
	Noite	447	178	NA	1.324	1.133	352
Abril/2021	Dia	853	278	390	NA	NA	NA
	Noite	1.953	358	800	1.840	NA	NA
Maio/2021	Dia	455	128	179	463	13	37
	Noite	1.303	302	566	884	496	111
Julho/2021	Dia	346	76	NA*	134	27	5
	Noite	23	240	383	309	449	169
Dezembro/2021	Dia	217	611	266	856	77	34
	Noite	396	566	149	1.474	741	191
<b>Total</b>		<b>16.145</b>	<b>9.107</b>	<b>12.957</b>	<b>20.172</b>	<b>11.818</b>	<b>4.397</b>
<b>Total geral</b>		<b>74.596</b>					

Legenda: NA=não amostrado.

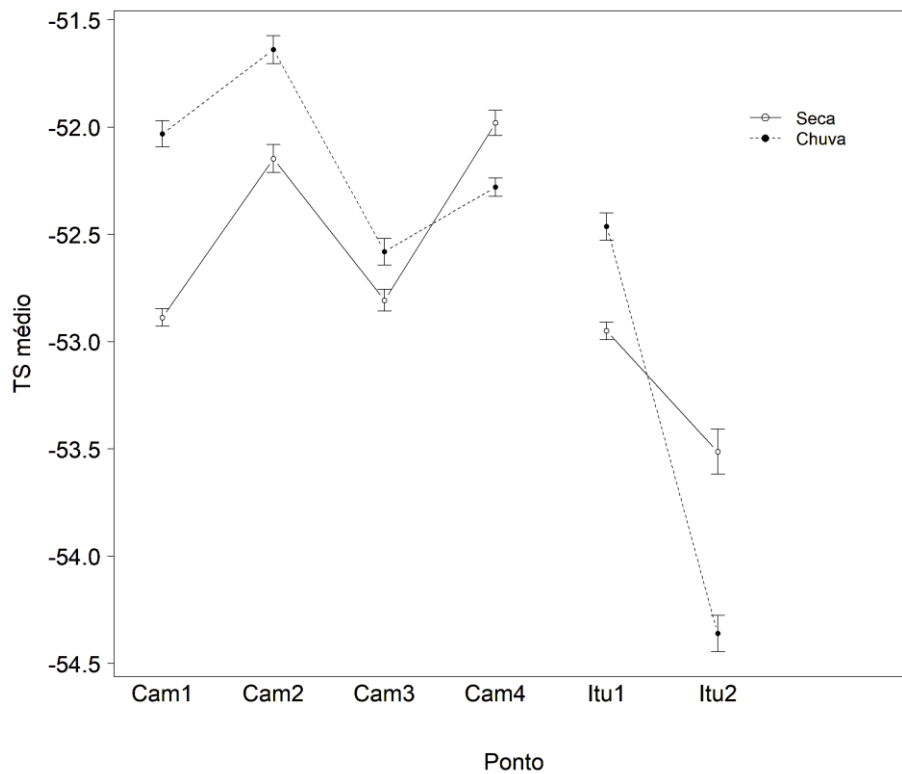
Fonte: Do autor (2022).

Figura 9 - Distribuição dos valores de TS médio dos Traços de Peixe identificados nos reservatórios da UHE Camargos e UHE Itutinga, na bacia do Rio Grande em Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 10 - Valores de TS médio para cada ponto nos reservatórios de Camargos e Itutinga, nas estações Seca e Chuvosa, com intervalo de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2022).

Tabela 4 - Resultados do teste de Dunn para TS médio entre os pontos nos reservatórios da UHE Camargos e UHE Itutinga, par a par, na estação Seca.

	Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Itu1
Cam 2	-9.436661 0.0000*				
Cam3	0.586976 0.2786	9.092853 0.0000*			
Cam4	-12.41908 0.0000*	-1.290269 0.0985	-11.590118 0.0000*		
Itu1	-5.267343 0.0000*	4.516077 0.0000*	-5.214318 0.0000*	6.515382 0.0000*	
Itu2	3.397091 0.0003*	8.847698 0.0000*	2.931561 0.0017*	10.15464 0.0000*	6.179290 0.0000*

Legenda: Kruskall-Wallis chi-squared = 278.5061, df = 5, p-value = 0; Alpha= 0.05; Reject H0 if;  $p \leq \alpha$ ;2.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 5 - Resultados do teste de Dunn para TS médio entre os pontos nos reservatórios da UHE Camargos e UHE Itutinga, par a par, na estação Chuva.

	Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Itu1
Cam2	-4.618770 0.0000*				
Cam3	-7.416950 0.0000*	12.16286 0.0000*			
Cam4	4.814498 0.0000*	10.23709 0.0000*	-3.986012 0.0000*		
Itu1	3.614150 0.0002*	8.134496 0.0000*	-3.516832 0.0002*	-0.399841 0.3446	
Itu2	20.91035 0.0000*	24.59808 0.0000*	15.60754* 0.0000*	19.97687 0.0000*	17.69928 0.0000*

Legenda: Kruskall-wallis chi-squared = 675.2522, df = 5, p-value = 0; Alpha = 0.05; Reject H0 if  $p \leq \alpha$ ;2.

Fonte: Do autor (2022).



## 4 DISCUSSÃO

Estação, local de coleta e a interação desses fatores influenciaram o tamanho médio dos peixes. Embora a variação do TS médio entre os pontos de ambos os reservatórios seja similar entre as estações, o efeito da estação é mais pronunciado entre os pontos do reservatório de Itutinga do que entre os de Camargos, onde a amplitude da variação é menor. De modo geral, houve aparente movimentação dos peixes maiores no sentido montante em ambos os reservatórios na Chuva, já que nestas regiões foi observado aumento dos valores de TS quando comparado com o tamanho médio na Seca.

Diversos trabalhos já utilizaram a técnica de ecossondagem no Brasil. Em rios, já foram avaliados padrões migratórios (CASARIM et al., 2018), e padrões de distribuição de peixes a jusante de barragens (LOURES & POMPEU, 2015). Em reservatórios, já foram observados padrões de distribuição próximos a barragens (PRADO & POMPEU, 2014, ANDRADE et al., 2019), migração vertical (PRADO & POMPEU, 2016) e fatores que determinam a distribuição vertical de peixes (PRADO & POMPEU, 2016; PORTO et al., 2022). Este foi o primeiro trabalho a avaliar, através desta técnica, padrões de distribuição de tamanho ao longo de um gradiente longitudinal entre dois reservatórios em cascata.

A mudança na composição de espécies e abundância de peixes pode acontecer gradualmente no tempo e espaço, devido aos filtros ambientais formados pelos reservatórios e barragens (GOMES; MIRANDA, 2001; AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007; (BAUMGARTNER; BAUMGARTNER; GOMES, 2018). Nas porções lóticicas do reservatório, é comum encontrarmos espécies reofílicas, inclusive migradoras de grande porte (AGOSTINHO et al., 2016), enquanto em porções lênticas geralmente encontramos mais espécies sedentárias e de menor porte (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007; AGOSTINHO et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2018). Este padrão explicaria os maiores valores de TS médio mais próximo da região de transição no reservatório de Camargos e mais próximos da barragem de Camargos no reservatório de Itutinga.

Existe um grande sincronismo entre cheias e eventos reprodutivos de peixes (AGOSTINHO; JÚLIO JÚNIOR, 1999; AGOSTINHO; THOMAZ; MINTE-VERA; WINEMILLER, 2000) que, geralmente, buscam águas lóticicas pois são essenciais na flutuação, deriva e fertilização dos ovócitos (GODOY, 1975). O padrão sazonal que encontramos, onde peixes maiores se movimentaram para montante em ambos os reservatórios, pode estar relacionado com a necessidade que estes, provavelmente de espécies migradoras, têm de se deslocar para se reproduzir.

Uma das maiores fontes de alteração da ictiofauna a jusante em um curso d'água é a regulação e controle do regime de cheias (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007). Como a UHE de Itutinga opera de maneira coordenada com a UHE de Camargos, o reservatório de Itutinga praticamente não oscila o nível e é um ambiente de águas majoritariamente lênticas, sem conexão direta com remanescentes lóticos. Isto explicaria o menor tamanho médio dos exemplares detectados, já que nesses ambientes encontramos mais espécies de menor porte do que em águas lóticas (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007; AGOSTINHO et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2018).

A hidroacústica mostrou-se uma ferramenta versátil no estudo da estrutura em tamanho de comunidades de peixes. Com a substituição de espécies migradoras por espécies de menor porte e menor valor comercial ao longo do tempo, em consequência da construção de barragens (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007), a eco sondagem pode ser uma forte alternativa para estudos futuros. Já que nossos resultados apontaram para diferenças entre as regiões do reservatório, o uso da acústica subaquática permitiria o acompanhamento e avaliação temporal deste processo e de como ele ocorre nas diferentes regiões, ou ao longo de cascatas de reservatórios.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO JÚNIOR, H. F. Ameaça ecológica: peixes de outras águas. **Ciência Hoje**, v. 21, n. 124, p. 36-44, 1996. Disponível em: < <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/5251> >. Acesso em: 2022.
- AGOSTINHO, A. A. et al. *Biodiversity in the High Paraná River Floodplain*. In: GOPAL, B.; JUNK, W. J.; DAVIS, J. A. (Ed.). **Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation**. Leiden, The Netherlands: *Backhuys Publishers*, 2000. v. 1, p. 89-118.
- AGOSTINHO, A.A. et al. *Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging*. In: GALIZIA, J. G.; STRASKABA, M. **Theoretical Reservoir Ecology and its Applications**. São Carlos: 1999.
- AGOSTINHO, A. A. et al. *Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management*. **Fisheries Research**, v. 173, p. 26–36, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.04.006> >. Acesso em: 2022.
- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. p. 501.
- AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M.; GOMES, L. C. *Dams and the fish fauna of the Neotropical region: Impacts and management related to diversity and fisheries*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4 SUPPL., p. 1119–1132, 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019> >. Acesso em: 2022.
- ANDRADE, F. M. et al. *Hydroacoustic evaluation of the spatial and temporal distribution of fish in the upstream proximity of a dam in a Neotropical reservoir*. **Acta Ichthyologica et Piscatoria**, v. 49, p. 329-339, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.3750/AIEP/02558> >. Acesso em: 2022.
- BARLETTA, M. et al. *Fish and aquatic habitat conservation in South America: A continental overview with emphasis on neotropical systems*. **Journal of Fish Biology**, v. 76, n. 9, p. 2118–2176, 2010. Disponível em: < <http://ftp.nupelia.uem.br/users/agostinhoaa/publications/222-%20JFB-Barletta-et-al.pdf> >. Acesso em: 2022.
- BAUMGARTNER, M. T.; BAUMGARTNER, G.; GOMES, L. C. *Spatial and temporal variations in fish assemblage: Testing the zonation concept in small reservoirs*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 3, p. 487–500, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1519-6984.170424> >. Acesso em: 2022.
- BAXTER, R. M. *Environmental effects of Dams and Impoundments*. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 8, n. 1, p. 255–283, 1977. Disponível em: < <https://doi.org/10.1146/annurev.es.08.110177.001351> >. Acesso em: 2022.
- BELLARD, C.; CASSEY, P.; BLACKBURN, T. M. *Alien species as a driver of recent extinctions*. **Biology Letters**, v. 12, n. 4, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0623> >. Acesso em: 2022.

BEN. **Balço Energético Nacional 2021**. Brasil: EPE, 2021. p. 1–73.

BRANDT. *Acoustic assessment of fish abundance and distribution*. In: MURPHY, R. B.; WILLIS, D. W. **Fisheries techniques**. American Fisheries Society, 1996. 732p.

CASARIM, R. et al. *Fish movement patterns in a Neotropical free-flowing tributary located downstream from a large dam*. **Marine and Freshwater Research**, 2018. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1071/MF17216> >. Acesso em: 2022.

FOOTE, K. G. *Fish target strengths for use in echo integrator surveys*. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 82, n. 3, p. 981–987, 1987. Disponível em: < <https://darchive.mblwhoilibrary.org/bitstream/handle/1912/5652/JAS000981.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 2022.

GODOY, M. P. **Peixes do Brasil, Subordem Characoidei**: bacia do rio Mogi Guassu. 1. Ed. Piracicaba: Editora Franciscana, 1975.

IEA. *Electricity Information*. **International Energy Agency Database Documentation**, 2021. Disponível em: < <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/electricity-information> >. Acesso em: 2022.

IPT. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) - SP/MG**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov>>. Acesso em: 2022.

KRUMME, U.; SAINT-PAUL, U. *Observations of fish migration in a macrotidal mangrove channel in Northern Brazil using a 200-kHz split-beam sonar*. **Aquatic Living Resources**, v. 16, n. 3, p. 175–184, 2003. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00046-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00046-9) >. Acesso em: 2022.

LOURES, R. C.; POMPEU, P. S. *Seasonal and diel changes in fish distribution in a tropical hydropower plant tailrace: Evidence from hydroacoustic and gillnet sampling*. **Fisheries Management and Ecology**, v. 22, n. 3, p. 185–196, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/fme.12116> >. Acesso em: 2022.

LOURES, R. C.; POMPEU, P. S. *Long-term study of reservoir cascade in south-eastern Brazil reveals spatio-temporal gradient in fish assemblages*. **Marine and Freshwater Research**, 2018. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1071/MF18109> >. Acesso em: 2022.

LUCAS, M. C.; BARAS, E. *Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment*. **Fish and Fisheries**, v. 1, n. 4, p. 283–316, 2000. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1046/j.1467-2979.2000.00028.x> >. Acesso em: 2022.

OLIVEIRA, A. G. et al. *Long-term effects of flow regulation by dams simplify fish functional diversity*. **Freshwater Biology**, v. 63, n. 3, p. 293, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/fw.13064> >. Acesso em: 2022.

PARKER-STETTER, S. L. et al. **Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the great lakes: special publication**. Great Lakes Fishery Commission, 2009.

PORTO, C. P. et al. *Vertical distribution of fish in the deepest Brazilian reservoir. Fisheries Management and Ecology*, 2022. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/fme.12535> >. Acesso em: 2022.

PRADO, I. G.; POMPEU, P. S. *Vertical and seasonal distribution of fish in Três Marias reservoir. Lake and Reservoir Management*, v. 30, n. 4, p. 393-404, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/10402381.2014.955221> >. Acesso em: 2022.

PRADO, I. G.; POMPEU, P. S. *Diel vertical migration of fish in a Neotropical reservoir. Marine and Freshwater Research*, v. 68, p. 1070-1078, 2016. Disponível em: < <https://www.publish.csiro.au/mf/mf16009> >. Acesso em: 2022.

SIMMONDS, J.; MACLENNAN, D. N. *Fisheries acoustics: theory and practice*. [s.l.] Blackwell Publishing, 2005.

SUZUKI, F. M.; PIRES, L. V.; POMPEU, P. S. *Passage of fish larvae and eggs through the Funil, Itutinga and Camargos reservoirs on the upper Rio Grande (Minas Gerais, Brazil). Neotropical Ichthyology*, v. 9, n. 3, p. 617–622, 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1679-62252011000300014> >. Acesso em: 2022.

## **CAPÍTULO 4: CONCLUSÃO GERAL**

Em um país que se destaca pelos grandes e numerosos cursos d'água, a mais rica fauna de água doce, e no qual grande parte da matriz energética é proveniente de recursos hídricos, investigar sistemas aquáticos e sua biodiversidade é indispensável. Neste trabalho, apresentamos duas abordagens no estudo da ecologia de peixes e sazonalidade em um sistema de cascata de reservatórios. Aqui, exploramos metodologias tradicionais, como análise de conteúdo estomacal, e inovações tecnológicas na ictiologia, como a utilização de sonares hidroacústicos. Inserir novas tecnologias no estudo de peixes, associada ao conhecimento técnico tradicional, maximiza o leque de informações coletadas e permite explorar novas abordagens e responder cada vez mais perguntas ecológicas além de, potencialmente, diminuir a interferência no ambiente em ocasiões de coleta. Com nossos resultados, contribuímos para a construção do conhecimento científico sobre a ecologia de peixes e ambientes aquáticos, e fornecemos ainda mais informações que podem servir como referência em se tratando manejo de ambientes represados, conservação de peixes e de ecossistemas aquáticos.