

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo
desta dissertação será
disponibilizado somente a
partir de 17/02/2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS DE BOTUCATU

**Ecologia trófica e biomarcadores isotópicos e fisiológicos de espécies de peixes silvestres
associados a pisciculturas em tanques-rede**

BRUNA CAROLINE KOTZ KLIEMANN

Orientador: Prof. Dr. Igor Paiva Ramos
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Rosilene Luciana Delariva

Tese apresentada ao Instituto de Biociências da
Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de
Botucatu, SP, como parte dos requisitos para obtenção
do Título de Doutora em Ciências Biológica (Zoologia).

Botucatu – SP

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS DE BOTUCATU

**Ecologia trófica e biomarcadores isotópicos e fisiológicos de espécies de peixes silvestres
associados a pisciculturas em tanques-rede**

BRUNA CAROLINE KOTZ KLIEMANN

Orientador: Prof. Dr. Igor Paiva Ramos
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Rosilene Luciana Delariva

Tese apresentada ao Instituto de Biociências da
Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de
Botucatu, SP, como parte dos requisitos para obtenção
do Título de Doutora em Ciências Biológica (Zoologia).

Botucatu – SP

2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Kliemann, Bruna Caroline Kotz.

Ecologia trófica e biomarcadores isotópicos e fisiológicos de espécies de peixes silvestres associados a pisciculturas em tanques-rede / Bruna Caroline Kotz Kliemann. - Botucatu, 2023

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Igor Paiva Ramos

Coorientador: Rosilene Luciana Delariva

Capes: 20400004

1. Aquicultura. 2. Dieta. 3. Peixe de água doce. 4. Isótopos estáveis. 5. Substratos.

Palavras-chave: Aquicultura de água doce; Dieta; Impactos em peixes silvestres; Isótopos estáveis; Substratos energéticos.

Dedicatória

*A minha família, pelo apoio e incentivo.
A família PIRÁ e LIEB, que me acompanharam e
auxiliaram durante esses anos de crescimento.*

Agradecimentos

Essa tese significa muito mais do que a finalização do doutorado, significa o fechamento de mais um ciclo profissional. Um ciclo que me proporcionou conhecer pessoas e lugares incríveis, experiências indescritíveis e um imenso aprendizado, os quais foram essenciais para o meu amadurecimento profissional e pessoal. Inúmeras pessoas passaram por esse ciclo e contribuíram para a minha formação durante esses 5 anos, contudo agradeço em especial:

Aos meus pais, Carmen e Laudir por sempre me incentivarem na busca do conhecimento e pela boa educação que me fez tornar a pessoa que sou hoje.

As minhas irmãs, Alessandra e Isabelly, pela admiração, incentivo e apoio.

Aos meus avós pela boa educação nos primeiros anos da minha vida e ao incentivo e apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu noivo Wesley pelo amor, cuidado, paciência, apoio e companheirismo em todos os momentos da minha vida.

Ao Prof. Igor Paiva Ramos, que além de meu orientador é meu amigo, por ter aberto as portas para realizar a pós-graduação há 8 anos, pelo exemplo, confiança, paciência e orientação durante esses anos de pós-graduação.

À Prof. Dra. Rosilene Luciana Delariva por ter aberto as portas ao mundo da pesquisa há 10 anos, pela confiança, apoio, paciência e orientação em todos os aspectos, tanto profissionais quanto pessoais. Como também pela amizade e exemplo de uma excelente profissional.

À Prof. Dra. Cristiële Ribeiro pela parceria, orientação e contribuição com as análises fisiológicas, como também pela amizade durante esses anos de pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Juan Antônio Balbuena que me aceitou e me orientou durante meu estágio no exterior, foi muito importante para meu amadurecimento nas análises estatísticas, bem como amadurecimento pessoal.

À banca, Prof. Dra. Mayara Pereira Neves, Prof. Dra. Karine Orlandi Bonato, Prof. Dr. Luciano Lazzarini Wolff e Prof. Dr. João Henrique Pinheiro Dias por aceitarem a participação na banca e contribuírem com o aprimoramento do trabalho. Em especial, à Prof. Dra. Mayara que foi a minha mentora desde a graduação e exemplo profissional, como também pela amizade.

Aos amigos do Laboratório de Ictiologia, Ecologia e Biomonitoramento (LIEB) que me acompanham desde a graduação e aos amigos do Laboratório de Ecologia de Peixes (Pirá) que além da amizade, foram imprescindíveis para o desenvolvimento do doutorado.

As amizades feitas e fortalecidas nesse período, em especial a Cibele que além de ser importante para o desenvolvimento do projeto, foi muito importante para minha vida pessoal

me ajudando e apoiando desde o momento que cheguei em Ilha Solteira. À Letícia que esteve ao meu lado desde a primeira coleta do mestrado, à Lidiane que está sempre disposta a me ajudar quando preciso, ao Zé que além de ser meu parceiro de projeto se tornou um amigo muito especial, ao Aymar pela amizade e ajuda nas coletas e análises estatísticas, a Alini e Bianca pela ajuda nas coletas, pela amizade e companheirismo, a Malbellys, David e João que foram minha família durante o período do estágio no exterior.

Aos alunos de iniciação científica Júlia, Natália e Vinicius que me auxiliaram nas análises de conteúdo estomacal e permitiram que os orientasse durante sua iniciação científica e TCC.

À Dra. Cyntia Moraes que me auxiliou na realização e compreensão das modelagens com os dados de isótopos estáveis.

Ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, coordenação e professores pelas fundamentais contribuições ao longo do curso.

À concessão de bolsa do doutorado, processo nº 88887.302628/2018-00, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e concessão de bolsa produtividade, processo nº nº303311/2018-5, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

À concessão de bolsa do doutorado, processo nº 2018/01117-2, e concessão de bolsa para estágio no exterior (BEPE), processo nº2022/00839-0 pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

À todos os profissionais e instituições que contribuíram para a realização dessa pesquisa.

Sumário

Apresentação da tese	7
Resumo geral.....	8
Abstract	9
Introdução geral	10
Referências	15
Capítulo 1	19
Influências de pisciculturas em tanques-rede na ecologia trófica de peixes silvestres onívoro e carnívoro: evidências a partir do conteúdo estomacal e isótopos estáveis	19
Resumo	19
Abstract	19
Introdução	20
Material e métodos	23
Área de estudo	23
Amostragens	23
Amostragens e análises laboratoriais	24
<i>Ictiofauna</i>	24
<i>Conteúdo estomacal</i>	25
<i>Isótopos estáveis</i>	25
<i>Variáveis físicas e químicas da água</i>	26
Análise dos dados	26
<i>Conteúdo estomacal</i>	26
<i>Isótopos estáveis</i>	28
<i>Variáveis físicas e químicas da água</i>	32
Resultados	32
Discussão	44
Referências	47
Material suplementar	52
Capítulo 2	87
Ecofisiologia e relações tróficas em peixes silvestres onívoro e carnívoro sob influência de pisciculturas em tanques-redes	87
Abstract	87
Introdução	88
Materiais e métodos.....	90
Área de estudo	90

Espécies modelos	91
Amostragens e análises laboratoriais	92
<i>Ictiofauna</i>	92
<i>Substratos energéticos.....</i>	92
<i>Isótopos estáveis.....</i>	94
<i>Aspectos físico-químicos da água</i>	95
<i>Bromatologia da ração</i>	95
Análise dos dados	95
<i>Substratos energéticos.....</i>	95
<i>Isótopos estáveis.....</i>	97
<i>Substratos energéticos x isótopos estáveis.....</i>	100
<i>Aspectos físico-químicos da água</i>	100
Resultados	100
Discussão	116
Referências	120
Material suplementar	126
Conclusão geral.....	162

Apresentação da tese

Capítulo 1 – Influências de pisciculturas em tanques-rede na ecologia trófica de peixes silvestres onívoro e carnívoro: evidências a partir do conteúdo estomacal e isótopos estáveis

Nesse capítulo as influências de pisciculturas em tanques-rede na alimentação de *Geophagus sveni* (onívora) e *Plagioscion squamosissimus* (carnívora) foram avaliadas. Por meio de análises do conteúdo estomacal e isótopos estáveis de C e N, testou-se a hipótese de que as pisciculturas em tanques-rede promovem mudanças: 1) na alimentação e assimilação dos recursos alimentares; 2) na amplitude de nicho trófico e nicho isotópico e 3) na posição trófica de ambas as espécies.

Capítulo 2- Ecofisiologia e relações tróficas isotópicas em peixes silvestres onívoro e carnívoro sob influência de pisciculturas em tanques-redes

Nesse capítulo foram avaliadas as influências das pisciculturas em tanques-rede sobre a concentração de proteínas, lipídeos e glicogênio dos tecidos hepático, gonadal e muscular e assimilação dos recursos alimentares de *Geophagus sveni* (onívora) e *Plagioscion squamosissimus* (carnívora). Testou-se a hipótese de que as concentrações dos substratos energéticos, composição isotópica e assimilação dos recursos alimentares variam em decorrência da influência das pisciculturas em tanques-rede nas fontes de recursos alimentares para as duas espécies independente das variações sazonais e de sexo.

Resumo geral

A produção de peixes de água doce em pisciculturas em tanques-rede tem um importante papel na economia nacional e mundial. Nesses sistemas, a criação é intensiva, com peixes confinados em alta densidade, em tanques vazados e flutuantes, alimentados com intenso aporte de ração. A liberação de matéria orgânica, composta de ração não consumida e excretas dos peixes de cultivo, é uma das principais preocupações relacionadas aos tanques-rede e provoca mudanças na alimentação ictiofauna local. Nesse sentido, as mudanças na dieta podem alterar a estrutura das comunidades locais devido às interferências em diferentes níveis tróficos. Efeitos das pisciculturas em tanques-rede na dieta dos peixes podem repercutir também em alterações fisiológicas em órgãos como fígado e gônadas em resposta a altas concentrações de proteína e energia da ração. Assim, o objetivo geral do presente estudo foi avaliar as influências de pisciculturas em tanques-rede sobre as espécies introduzidas *Geophagus sveni* e *Plagioscion squamosissimus* por meio da dieta e assimilação (isótopos estáveis) de recursos alimentares, bem como a quantificação dos substratos energéticos proteína, lipídeo e glicogênio total. Para isso, os peixes foram coletados em locais com (TR) e sem a presença (CT) de pisciculturas em tanques-rede em um reservatório neotropical. Por meio do conteúdo estomacal observou-se o consumo de ração em locais com a presença dos tanques-rede. Apesar de não ter sido observado o consumo de ração no conteúdo estomacal dos peixes carnívoros e dos peixes nos locais sem as pisciculturas, a análise de isótopos estáveis, por sua vez, demonstrou que ocorreu a assimilação de ração. A partir disso, pode-se observar que as influências das pisciculturas em tanques-rede vão além do consumo de ração ou aumento na abundância de peixes e outros organismos no entorno dos tanques, indicando influências em vários níveis tróficos e em locais onde não há pisciculturas em operação. Além disso, as análises das concentrações de proteínas, lipídeos e glicogênio nos tecidos hepático, gonadal e muscular diferiram em função das altas porcentagens de proteína na ração. Maiores valores do índice hepatossomático para os peixes nos locais onde ocorreu maiores porcentagens de assimilação de ração (CT1, TR1, TR2 e TR3) indicaram maiores reservas de energia no fígado, corroborando o potencial energético da ração. Assim, as abordagens aqui avaliadas foram eficazes em demonstrar as influências das pisciculturas em tanques-rede relatando que ambas as espécies assimilaram a ração perdida para o ambiente aquático. Ainda, os resultados demonstraram que essa assimilação promoveu alterações nas concentrações dos substratos energéticos, levantando questionamentos sobre as consequências dessas alterações fisiológicas para a reprodução dessas espécies. Essas altas concentrações de proteína e energia poderiam favorecer a reprodução e o crescimento dessas espécies, aumentando assim o estoque pesqueiro? Poderia favorecer a manutenção dessas populações de espécies não nativas? Qual o efeito sobre espécies nativas? Estudos futuros abrangendo a comunidade como um todo em uma série temporal maior e com espécies nativas fazem-se necessários para responder esses questionamentos. Os resultados aqui observados podem ainda fornecer informações aos piscicultores sobre as consequências da perda de matéria orgânica para o ambiente aquático, como parâmetro para medidas mitigadoras que possam reduzir tal perda.

Palavras-chaves: aquicultura de água doce, impactos em peixes silvestres, dieta, isótopos estáveis, substratos energéticos.

Abstract

The production of freshwater cage fish farms plays an important role in the national and world economy. In these systems, the breeding is intensive, with fish confined at high densities in empty, floating cages, fed with intensive pelleted feed intake. The release of organic matter, composed of uneaten pelleted feed and excreta from farmed fish, is one of the main concerns related to cages fish and causes changes in the local ichthyofauna diet. In this sense, changes in diet can alter the structure of local communities due to interference at different trophic levels. Effects of cage fish farms on fish diet can also result in physiological changes in organs such as liver and gonads in response to high concentrations of protein and energy in the pelleted feed. Thus, the general objective of the present study was to evaluate the influences of cage fish farms on the introduced species *Geophagus sveni* and *Plagioscion squamosissimus* by means of diet and assimilation (stable isotopes) of food resources, as well as the quantification of the energetic substrates protein, lipid and total glycogen. For this purpose, fish were collected from sites with (TR) and without (CT) cage fish farms in a Neotropical reservoir. Through stomach contents, pelleted feed consumption was observed in sites with the presence of fish farms. Although pelleted feed consumption was not observed in the stomach contents of carnivorous fish and fish at sites without fish farms, stable isotope analysis demonstrated that pelleted feed assimilation occurred. From this, the influences of cage fish farms go beyond pelleted feed consumption or increases in the abundance of fish and other organisms around the cages, indicating influences at various trophic levels and at sites where no fish farms are in operation. Furthermore, analyses of protein, lipid and glycogen concentrations in liver, gonadal and muscle tissues differed according to the high percentages of protein in the pelleted feed. Higher hepatosomatic index values for fish at the sites where higher percentages of pelleted feed assimilation occurred (CT1, TR1, TR2 and TR3) indicated higher energy reserves in the liver, corroborating the energy potential of the pelleted feed. Thus, the approaches evaluated here were effective in demonstrating the influences of cage fish farms by reporting that both species assimilated pelleted feed lost to the aquatic environment. Furthermore, the results showed that this assimilation promoted changes in the concentrations of energetic substrates, raising questions about the consequences of these physiological changes for the reproduction of these species. Could these high concentrations of protein and energy favor the reproduction and growth of these species, thus increasing the fish stock? Could it favor the maintenance of these populations of non-native species? What is the effect on native species? Future studies covering the community over a longer time series and with native species are needed to answer these questions. The results observed here can also provide information to fish farmers about the consequences of the loss of organic matter to the aquatic environment, as a parameter for mitigating measures that can reduce such loss.

Keywords: freshwater aquaculture, impacts on wild fish, diet, stable isotopes, energy substrates.

Introdução geral

O cultivo de peixes de água doce desempenha um papel importante no setor zootécnico e na economia mundial (FAO, 2020). O consumo de pescado pela população mundial, no período de 1961 a 2017, cresceu 3,1% ao ano, taxa superior ao crescimento populacional (1,6%) e ao consumo de outras proteínas animais (2,7%) (FAO, 2020). Atrelado a esse crescimento, aproximadamente 179 milhões de toneladas de pescado foram produzidos em escala mundial no ano de 2018, movimentando US\$ 401 bilhões (FAO, 2020). Em cenário nacional, em 2021, as pisciculturas foram responsáveis pela produção de 559 mil toneladas de peixes, totalizando um montante de R\$ 4,7 bilhões (IBGE, 2022). Dentre os estados brasileiros, São Paulo é o segundo maior produtor de pescado, destacando-se as cidades do Noroeste paulista e o reservatório de Ilha Solteira (IBGE, 2022; PEIXEBR, 2022).

Dentre os modelos de cultivo de peixes, as pisciculturas em tanques-rede têm se expandido rapidamente, principalmente nas regiões Sudoeste e Norte do Brasil (VALENTI *et al.*, 2021). A utilização de áreas públicas alagadas, como rios, lagos, lagoas e represas contribui para o predomínio e crescimento desse modelo de cultivo, uma vez que não há necessidade de investimento financeiro para obtenção de terras e construção de açudes (AZEVEDO, 2021; NUNES; ROCHA, 2015). Além disso, houve grandes investimentos nos últimos anos por meio de políticas públicas que incentivaram a implementação desses modelos de cultivo (HENRY-SILVA *et al.*, 2022).

Apesar da importante contribuição para a economia global, as pisciculturas em tanques-rede têm promovido alterações nos ambientes aquáticos nas quais estão inseridas (BARRET; SWEARER; DEMPSTER, 2018; GYALOG; CUBILLOS TOVAR; BÉKEFI, 2022; XIONG *et al.*, 2022). Em tanques-rede a criação é intensiva, os peixes são confinados em alta densidade, em tanques vazados e flutuantes e alimentados com intenso aporte de ração (EDWARDS, 2015; SCHULTER; VIEIRA FILHO, 2017). A carga de matéria orgânica composta de ração não consumida e excretas dos peixes de cultivo liberada no ambiente circundante aos tanques, é um dos principais impactos ambientais causados (HU *et al.*, 2016; KAYA; PULATSU, 2017; VAROL, 2019). Estudos em reservatórios brasileiros demonstram que até 18% dessa matéria orgânica é perdida para o ambiente aquático adjacente (MONTANHINI NETO; OSTRENSKY, 2015). Esse intenso aporte de matéria promove interferências na qualidade de água e serve como fonte de alimento para diferentes organismos aquáticos (HENRY-SILVA *et al.*, 2022; NOBILE *et al.*, 2020).

As redes que constituem os tanques permitem a circulação de água, e dessa forma, o carregamento de parte dessa matéria orgânica, promovendo a limpeza dos tanques

(AGOSTINHO *et al.*, 2007). Como consequências podem ocorrer aumento da carga de sedimentação, mudanças na qualidade da água, aumento da fauna parasitária, mudanças nos hábitos alimentares de peixes silvestres, alterações fisiológicas e mudanças estruturais na ictiofauna local (BARRET; SWEARER; DEMPSTER, 2018; KLIEMANN *et al.*, 2018, 2022; NOBILE *et al.*, 2020). Dentre esses efeitos, mudanças na alimentação de peixes silvestres indicam diretamente a entrada de matéria orgânica no ambiente proveniente dos tanques de cultivo. Ainda, fornecem percepções sobre possíveis alterações na estrutura das comunidades devido a interferências em diferentes níveis tróficos (IZQUIERDO-GÓMEZ *et al.*, 2015; KLIEMANN *et al.*, 2022). Além da matéria orgânica servir de alimento para os peixes silvestres, é fonte alimentar para toda fauna aquática, promovendo o aumento na disponibilidade de recursos em vários níveis da teia trófica (BARRET; SWEARER; DEMPSTER, 2018; DA SILVA CACHO; TEIXEIRA DE MOURA; HENRY-SILVA *et al.*, 2022). As estruturas dos tanques de cultivo também contribuem como substrato de fixação para algas, plantas e invertebrados aquáticos, potencializando o aumento de recursos alimentares para a ictiofauna local (KLIEMANN *et al.*, 2022).

O consumo direto da ração é relatado em vários estudos, principalmente para espécies onívoras, como *Pimelodus maculatus* (BRANDÃO *et al.*, 2014; RAMOS *et al.*, 2013), *Pimelodus platicirris* (KLIEMANN *et al.*, 2022), *Iheringichthys labrosus* (RAMOS *et al.*, 2013), *Apareiodon affinis* (BRANDÃO *et al.*, 2012), *Metynnis lippincottianus* (RAMOS, J. *et al.*, 2022; KLIEMANN *et al.*, 2022; RAMOS, I.; VIDOTTO-MAGNONI; CARVALHO, 2008 (*Metynnis maculatus* (= *Metynnis lippincottianus*))), *Astyanax lacustris* (= *Astyanax altiparanae*) (RAMOS; VIDOTTO-MAGNONI; CARVALHO, 2008), *Geophagus sveni* (= *Geophagus proximus*) (KLIEMANN *et al.*, 2018; KLIEMANN *et al.*, 2022), *Satanoperca papaterra* e *Triportheus nematurus* (KLIEMANN *et al.*, 2022). Para espécies carnívoras foram relatadas influências indiretas devido ao potencial atrativo dos tanques de cultivo (BRANDÃO *et al.*, 2013; KLIEMANN *et al.*, 2022; RAMOS *et al.*, 2013). Esse potencial atrativo se deve a matéria orgânica perdida para o ambiente aquático que atrai peixes e outros organismos aquáticos (KLIEMANN *et al.*, 2022; NOBILE *et al.*, 2020). Dessa forma, peixes carnívoros são favorecidos com essa maior abundância de peixes-presa e invertebrados aquáticos nas áreas de pisciculturas.

O generalismo e o oportunismo trófico (GERKING, 1994), documentado para as espécies onívoras, favorecem o consumo de alimentos disponíveis no tempo e no espaço. Dessa forma, essas espécies se alimentam da matéria orgânica proveniente dos tanques de cultivo, bem como de organismos que proliferam mediante essa disponibilidade de alimento (BARRET;

SWEARER; DEMPSTER, 2018; DA SILVA CACHO; TEIXEIRA DE MOURA; HENRY-SILVA, 2020; HENRY-SILVA *et al.*, 2022). Como consequência, podem ocorrer interferências em níveis inferiores da cadeia trófica quando os peixes diminuem o consumo de alimentos naturais devido ao consumo da ração, como também nos níveis tróficos superiores devido à predação de organismos que consumiram ração (KLIEMANN *et al.*, 2022; IZQUIERDO-GÓMEZ *et al.*, 2015). Estudos demonstram que cascatas tróficas podem ocorrer quando mais de dois níveis tróficos são influenciados (BARTRONS *et al.*, 2020; CARPENTER; KITCHELL; HODGSON, 1985), dessa forma, pisciculturas em tanques-rede possuem potencial para causar tais cascatas.

O consumo da ração pela ictiofauna silvestre é comumente constatado por meio da quantificação do conteúdo estomacal. No entanto, essa abordagem convencional fornece apenas um panorama instantâneo de itens recentemente ingeridos (BENEDITTO *et al.*, 2013; HYSLOP, 1980; PARK *et al.*, 2015). Por outro lado, a utilização de isótopos estáveis de C e N é uma alternativa para avaliar padrões alimentares ao longo do tempo, fornecendo evidências sobre as quantidades relativas de nutrientes e suas fontes efetivamente assimiladas (MARTINELLI *et al.*, 2009). Essa técnica se baseia no fato de que as proporções isotópicas do consumidor dependem das proporções isotópicas de sua dieta (COMPSON *et al.*, 2014; CRESSON; RUITTON, HARMELIN-VIVIEN, 2016). Assim, a matéria orgânica proveniente dos tanques de cultivo pode ser rastreada e identificada por meio da alimentação dos peixes silvestres, uma vez que apresenta assinatura isotópica diferente dos recursos alimentares naturais (VIZZINI; MAZZOLA, 2004).

Os isótopos estáveis são intrínsecos ao ambiente e incorporados aos tecidos dos produtores primários durante o processo de fotossíntese e transferidos aos animais que os consomem (ALBRECHT *et al.*, 2021). Nesse processo de transferência entre os níveis tróficos, ^{13}C muda cerca de 1‰ a cada nível trófico e por isso é utilizado para rastrear a fonte de carbono (vegetal ou animal, terrestre ou aquático) da dieta dos organismos (DENIRO; EPSTEIN, 1981; FRY, 2008; PETERSON; FRY, 1987). Em contrapartida, $\delta^{15}\text{N}$ apresenta mudanças de 3 e 4‰ no organismo a cada nível trófico, sendo comumente utilizado para estimar o nível trófico (DENIRO; EPSTEIN, 1981; FRY, 2008; PETERSON; FRY, 1987). Ainda, a partir dos valores isotópicos dos consumidores é possível calcular o nicho isotópico e verificar as diferentes fontes de carbono assimiladas e a amplitude de posição trófica dentro da população avaliada (CABANA; RASMUSSEN, 1996; PETERSON; FRY, 1987). A posição trófica, por sua vez, fornece informações sobre a aquisição e transferência de energia entre os recursos e consumidores (ALBRECHT *et al.*, 2021).

Os efeitos das pisciculturas em tanques-rede na dieta dos peixes repercutem ainda em alterações fisiológicas em órgãos como fígado e gônadas (BARRET; SWEARER; DEMPSTER, 2018; KLIEMANN *et al.*, 2018). Uma das formas de avaliar essas alterações na fisiologia é por meio da quantificação dos substratos energéticos como proteínas, lipídios e carboidratos totais nos tecidos hepáticos, gonadais e musculares. Esses substratos energéticos são de suma importância no metabolismo basal, sendo utilizados para crescimento e reprodução (BALDISSEROTTO; URBINATI; CYRINO, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2012). As proteínas são os blocos de construção das células musculares e órgãos, e os lipídeos e glicogênios são fontes de energia (BALDISSEROTTO; URBINATI; CYRINO, 2020).

Nesse contexto, o fígado possui papel fundamental na mobilização e metabolização das moléculas provenientes da alimentação, sendo essencial na desintoxicação do organismo (BERNET *et al.*, 1999; SHIOGIRI *et al.*, 2012; YANCHEVA *et al.*, 2016). Alterações nesse tecido refletem diretamente nas respostas fisiológicas de outros órgãos, como por exemplo, músculos e gônadas. A musculatura, por desempenhar funções diretamente ligadas à performance natatória do peixe (MOMMSEN, 2001), exerce influência direta sobre a captura de alimentos e proteção. A nível reprodutivo, alterações metabólicas nas gônadas estão relacionadas ao sucesso da vitelogênese, recrutamento de oócitos e desova, com consequências na manutenção de populações naturais viáveis a longo prazo (BALDISSEROTTO; URBINATI; CYRINO, 2020).

Estudos integrando dieta e fisiologia em peixes silvestres associados a pisciculturas em água doce no Brasil são escassos, havendo apenas um estudo com *Geophagus sveni* (= *Geophagus proximus*) no reservatório de Ilha Solteira (KLIEMANN *et al.*, 2018). Assim, grande parte das informações provém de regiões temperadas e ambiente marinho (BARRET; SWEARER; DEMPSTER, 2018), havendo pouco conhecimento sobre os efeitos biológicos do consumo dos excedentes das pisciculturas em peixes silvestres neotropicais. Um estudo com tilápia cultivada (*Oreochromis niloticus*) avaliou relações entre os fatores fisiológicos e isótopos estáveis demonstrando que a qualidade, a eficiência do uso e a ingestão de proteína foram determinantes para os valores de $\delta^{15}\text{N}$ (KELLY, MARTÍNEZ DEL RIO, 2010). Dessa forma, abordagens integradas combinando resultados obtidos com a análise do conteúdo estomacal, isótopos estáveis e concentração dos substratos energéticos podem fornecer respostas consistentes sobre a ecologia trófica das espécies (BEARHOP *et al.*, 2004; DAVIS *et al.*, 2012; GENNER *et al.*, 1999; QUEVEDO; SVANBACK; EKLOV, 2009).

A avaliação do conteúdo estomacal, assimilação dos recursos alimentares por meio das análises de isótopos estáveis (C e N) e quantificação dos substratos energéticos relacionados à

alimentação, poderá fornecer percepções sobre vias tróficas da matéria orgânica altamente proteica proveniente dos tanques de cultivo. Até o momento é conhecido que espécies onívoras consomem a ração no entorno das pisciculturas e que esse consumo pode influenciar a quantificação dos substratos energéticos devido os teores de proteína da ração. No entanto, ainda há muitas lacunas a serem preenchidas no que diz respeito à assimilação desse recurso alimentar (a ração), e seus efeitos nos locais onde não há pisciculturas tanques-rede em operação, além dos possíveis efeitos fisiológicos sobre espécies com outros hábitos alimentares.

Considerando as lacunas apresentadas, espécies de peixes silvestres pertencentes às guildas tróficas onívora e carnívora podem constituir bons modelos para avaliar os efeitos das pisciculturas em tanques-rede sobre a ictiofauna silvestre no reservatório de Ilha Solteira, alto rio Paraná, São Paulo. Nessa perspectiva, *Geophagus sveni* Lucinda, Lucena & Assis, 2010 (onívora) e *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (carnívora) são duas espécies de peixes altamente abundantes no reservatório de Ilha Solteira e sofrem influência de pisciculturas em tanques-rede. Além do relato de mudanças na alimentação devido às influências das pisciculturas (KLIEMANN *et al.*, 2018, 2022; RAMOS *et al.*, 2013), também foi relatado maior abundância dessas espécies em áreas de pisciculturas (ORLANDI-NETO *et al.*, 2022).

Geophagus sveni (Cichliformes: Cichlidae), nativa da bacia do rio Tocantins (LUCINDA; LUCENA; ASSIS, 2010) foi introduzida na bacia do alto rio Paraná principalmente devido ao aquarismo (OTA *et al.*, 2018). Segundo Gois *et al.* (2015), esta espécie é altamente abundante e importante economicamente na bacia do rio Paraná e apresenta potencial invasivo para competir por recursos e promover o deslocamento de espécies nativas. *Geophagus sveni* apresenta comportamento generalista e hábito alimentar onívoro, o que favorece o consumo de recursos excedentes de pisciculturas em tanques-rede (KLIEMANN *et al.*, 2018, 2022). Além disso, a boca prostrátil na posição terminal permite a alimentação tanto na coluna de água quanto no sedimento (OTA *et al.*, 2018). Dessa forma, é possível explorar diferentes zonas e recursos alimentares disponibilizados pela piscicultura em tanques-rede.

Plagioscion squamosissimus (Acanthuriformes: Sciaenidae) é uma espécie nativa da bacia Amazônica (SANTOS *et al.*, 2006) e sua introdução na bacia do rio Paraná foi relacionada à sua importância econômica (OTA *et al.*, 2018). Possui hábito alimentar carnívoro, se alimentando principalmente de peixes e camarões (NEVES *et al.*, 2015; QUEIROZ-SOUZA *et al.*, 2018), sendo assim atraída para o entorno dos tanques de cultivo devido à maior abundância de peixes e outros organismos aquáticos que podem ser utilizados como presas nessas áreas (GONZALEZ-SILVEIRA *et al.*, 2015; ORLANDI-NETO *et al.*, 2022).

Diante do exposto, os objetivos do presente estudo foram avaliar as influências de pisciculturas em tanques-rede sobre *G. sveni* e *P. squamosissimus* por meio da dieta e da assimilação (isótopos estáveis) de recursos alimentares. Considerando que a espécie onívora consome ração, buscou-se compreender os efeitos desse consumo na concentração dos substratos energéticos (proteína, lipídeo e glicogênio) nos tecidos hepático, muscular e gonadal. Além disso, espera-se compreender melhor os efeitos da disponibilização de restos de ração sobre a espécie carnívora, uma vez que é relatado apenas influências indiretas devido à maior abundância de peixes-presa no entorno dos tanques de cultivo. Portanto, pretendeu-se avaliar se ocorreu assimilação de ração por transferência entre os níveis tróficos a fim de verificar se houve influência na concentração dos substratos energéticos nos tecidos hepático, muscular e gonadal na espécie carnívora selecionada.

Referências

- AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C.; PELICICE, F.M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**, Maringá: EDUEM, 2007.
- ALBRECHT, M. P. et al. Isótopos estáveis e outras ferramentas em estudos tróficos de peixes em riachos tropicais. **Oecologia Australis**, v. 25, n. 2, p. 283-300, 2021.
- AZEVEDO, P. C. S. **Caracterização da piscicultura em tanques-rede, um estudo de caso na barragem Saulo Maia**, Areia. 2021. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Paraíba, Paraíba, 2021.
- BALDISSEROTTO, B.; URBINATI, E. C.; CYRINO, J. E. P. **Biology and Physiology of Freshwater Neotropical Fish**. [S. l.]: Academic Press, 2020.
- BARRETT, L. T.; SWEARER, S. E.; DEMPSTER, T. Impacts of marine and freshwater aquaculture on wildlife: a global meta-analysis. **Reviews in Aquaculture**, p. 1–23, 2018.
- BARTONS, M. et al. Energy-based top-down and bottom-up relationships between fish community energy demand or production and phytoplankton across lakes at a continental scale. **Limnology and Oceanography**, v. 65, n. 9999, p. 1–11, 2020.
- BEARHOP, S. et al. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. **Journal of Animal Ecology**, v. 73, p. 1007–1012, 2004.
- BENEDITTO, A. P. M. Di et al. Trophic niche comparison between two predators in northern Rio de Janeiro State, Brazil: a stable isotopes approach. **Biota Neotropica**, v. 13, p. 29-33, 2013.
- BERNET, D. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of Fish Diseases**, v. 22, p. 25–34, 1999.
- BRANDÃO, H. et al. Influence of a cage farming on the population of the fish species *Apareiodon affinis* (Steindachner, 1879) in the Chavantes reservoir, Paranapanema River SP/PR, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, p. 438-448, 2012.
- BRANDÃO, H. et al. Influência de uma piscicultura em tanques-rede na dieta e atributos biológicos de *Galeocharax knerii* na represa de Chavantes, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 157–167, 2013.
- BRANDÃO et al. Influence of cage farming on feeding and reproductive aspects of *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Siluriformes: Pimelodidae) in the Chavantes reservoir, Brazil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 36, n. 1, p. 41-50, 2014

- CABANA, G.; RASMUSSEN, J. B. Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. **Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)**, v. 93, p. 10844–10847, 1996.
- CARPENTER, S. R.; KITCHELL, J. F.; HODGSON, J. R. Cascading trophic interactions and lake productivity. **Bioscience**, v. 35, p. 634–639, 1985.
- COMPSON, Z. G. *et al.* Closely related tree species differentially influence the transfer of carbon and nitrogen from leaf litter up the aquatic food web. **Ecosystems**, v. 18, p. 186–201, 2014.
- CRESSON, P. *et al.* Feeding strategies of co-occurring suspension feeders in an oligotrophic environment. **Food Webs**, v. 6, p. 19–28, 2016.
- DA SILVA CACHO, J. C. S.; TEIXEIRA DE MOURA, R. S. T.; HENRY-SILVA, G. G. Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish farming in net cages on the nutrient and particulate matter sedimentation rates in Umari reservoir, Brazilian semi-arid. **Aquaculture Reports**, v. 17, p. 100358, 2020.
- DAVIS, A. M. *et al.* Gut content and stable isotope analyses provide complementary understanding of ontogenetic dietary shifts and trophic relationships among fishes in a tropical river. **Freshwater Biology**, v. 57, n. 10, p. 2156–2172, 2012.
- DENIRO, J.; EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 45, p. 341–351, 1981.
- EDWARDS, P. Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends. **Aquaculture**, v. 447, p. 2–14, 2015.
- FAO. **The state of World Fisheries and Aquaculture 2020 - Sustainability in action**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.
- FRY, B. **Stable isotope ecology**. New York: Springer Science Business Media, 2008.
- GENNER, M. J. *et al.* Niche segregation among Lake Malawi cichlid fishes? Evidence from stable isotope signatures. **Ecology Letters**, v. 2, p. 185–190, 1999.
- GERKING, S. D. **Feeding Ecology of Fish**. San Diego: Academic Press, 1994.
- GOIS, K.S. *et al.* Invasion of an Amazonian cichlid in the Upper Paraná River: facilitation by dams and decline of a phylogenetically related species. **Hydrobiologia**, v. 746, n. 1, p. 401–413, 2015.
- GONZALEZ-SILVERA, D. *et al.* Mediterranean fouling communities assimilate the organic matter derived from coastal fish farms as a new trophic resource. **Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v. 91, n. 1, p. 45–53, 2015.
- GYALOG, G.; CUBILLOS TOVAR, J.P.; BÉKEFI, E. Desenvolvimento da Aquicultura de Água Doce na UE e na América Latina: Insight sobre Tendências de Produção e Dotação de Recursos. **Sustentabilidade 2022**, v. 14, p. 6443, 2022.
- HENRY-SILVA, G. G. *et al.* Economic, social, and environmental assessment of farming Nile tilapia in net-cages in a reservoir in hot semi-arid region during an extended drought event. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 52, p. 78768–78779, 2022.
- HU, Z.; *et al.* A comparison of methane emissions following rice paddies conversion to crab-fish farming wetlands in southeast China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 1505–1515, 2016.
- HYSLOP, E. J. Stomach contents analysis: a review of methods and their application. **Journal of Fish Biology**, v. 17, p. 411–429, 1980.
- IBGE. Produção de pecuária municipal 2021. **Produção de pecuária municipal**, v. 49, p. 1–12, 2021.
- IZQUIERDO-GÓMEZ, D. *et al.* Exportation of excess feed from Mediterranean fish farms to local fisheries through different targeted fish species. **ICES Journal of Marine Science**, v. 72, n. 3, p. 930–938, 2015.

- KAYA, D.; PULATSÜ, S. Sediment-focused environmental impact of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1972) cage farms: Almus reservoir (Tokat). **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 17, p. 345–352, 2017.
- KELLY, L. J.; MARTÍNEZ DEL RIO, C. M. The fate of carbon in growing fish: An experimental study of isotopic routing. **Physiological and Biochemical Zoology**, [s. l.], v. 83, n. 3, p. 473–480, 2010.
- KLIEMANN, B. C. K. *et al.* Dietary changes and histophysiological responses of a wild fish (*Geophagus cf. proximus*) under the influence of tilapia cage farm. **Fisheries Research**, v. 204, p. 337–347, 2018.
- KLIEMANN, B.C.K. *et al.* Do cage fish farms promote interference in the trophic niche of wild fish in neotropical reservoir?. **Fisheries Research**, v. 248, p. 106198, 2022.
- LUCINDA, P. H. F.; LUCENA, C. A. S.; ASSIS, N. C. Zootaxa, Two new species of cichlid fish genus *Geophagus* Heckel from the Rio Tocantins. **Zootaxa**, [s. l.], v. 42, n. April, p. 29–42, 2010.
- MARTINELLI, L. A. *et al.* **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- MOMMSEN, T.P. Paradigms of growth in fish. Comparative biochemistry and physiology. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry & Molecular Biology**, v. 129, p. 207–219, 2001.
- MONTANHINI NETO, R.; OSTRENSKY, A. Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) reared in cages in tropical climate conditions. **Aquaculture Research**, v. 46, n. 6, p. 1309-1322, 2015.
- NEVES, M. P. *et al.* Carnivory during Ontogeny of the *Plagioscion squamosissimus* : A successful non-native fish in a lentic environment of the Upper Paraná River Basin. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 10, n. 11, p. 1–15, 2015.
- NOBILE, A. B. *et al.* Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, n. 3, p. 1495–1517, 2020.
- NUNES, A. I. P.; ROCHA, I. P. Overview and latest developments in shrimp and tilapia aquaculture in Northeast Brazil. **World Aquaculture**, v. 46, p. 10–17, 2015.
- 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.
- ORLANDI-NETO, A. *et al.* Structure and composition of ichthyofauna associated with cage fish farming and compared to a control area after severe drought in a Neotropical reservoir. **Neotropical Ichthyology**, v. 20, n. 3, p. e210141, 2022.
- PARK, H. J. *et al.* Trophic structure in a pilot system for the integrated multi-trophic aquaculture off the east coast of Korean peninsula as determined by stable isotopes. **Marine Pollution Bulletin**, v. 95, n. 1, p. 207-214, 2015.
- PEIXEBR, 2022. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2022**. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>. Acesso em 11 de julho de 2022.
- PETERSON, B. J.; FRY, B. Stable isotopes in ecosystem studies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 18, p. 293–320, 1987.
- QUEIROZ-SOUSA, J. *et al.* Biology, ecology and biogeography of the South American silver croaker, an important Neotropical fish species in South America. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 693–714, 2018.
- QUEVEDO, M.; SVANBACK, R.; EKLOV, P. Intrapopulation niche partitioning in a generalist predator limits food web connectivity. **Ecology**, v. 90, p. 2263–2274, 2009.
- RAMOS, I. P. *et al.* Interference of cage fish farm on diet, condition factor and numeric abundance on wild fish in a Neotropical reservoir. **Aquaculture**, v. 414, p. 56–62, 2013.

- RAMOS, I.P.; VIDOTTO-MAGNONI, A.P.; CARVALHO, E.D. Influence of cage fish farming on the diet of dominant fish species of a Brazilian reservoir (Tietê River, High Paraná River basin). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 20, n. 3, p. 245-252, 2008.
- RAMOS, J. K. K. *et al.* Characterization of wild fish diet and trophic guild in a protected area. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [s. l.], v. 34, 2022.
- RIBEIRO, P. A. P. *et al.* **Manejo nutricional e alimentar de peixes de água doce**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- SANTOS, G.M.; FERREIRA, E.J.G.; ZUANON, J.A.S. **Peixes Comerciais de Manaus**. 1st. ed. Manaus: Editora INPA, 2006.
- SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Evolução da piscicultura no brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017.
- SHIOGIRI, N. S. *et al.* Acute exposure of a glyphosate-based herbicide affects the gills and liver of the Neotropical fish, *Piaractus mesopotamicus*. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 34, p. 388–396, 2012.
- VALENTI, W. C. *et al.* Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, v. 19, p. 100611, 2021.
- VAROL, M. Impacts of cage fish farms in a large reservoir on water and sediment chemistry. **Environmental Pollution**, v. 252, p. 1448–1454, 2019.
- VIZZINI, S.; MAZZOLA, A. Stable isotope evidence for the environmental impact of a land-based fish farm in the western Mediterranean. **Marine Pollution Bulletin**, v. 49, n. 1-2, 61-70, 2004.
- XIONG, W. *et al.* Tilapia introduction in China: Economic boom in aquaculture versus ecological threats to ecosystems. **Reviews in Aquaculture**, v. 15, p. 179-197, 2022.
- YANCHEVA, V. *et al.* Histological biomarkers in fish as a tool in ecological risk assessment and monitoring programs: a review. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 14, p. 47–75, 2016.

Conclusão geral

As influências das pisciculturas em tanques-rede sobre os aspectos alimentares das duas espécies avaliadas foram confirmadas. As análises de conteúdo estomacal, isótopos estáveis, concentração dos substratos energéticos, bromatologia da ração e o índice hepatossomático se mostraram eficazes em avaliar essas influências. Por meio do conteúdo estomacal observou-se que ocorreu mudança na dieta entre os locais de amostragem e o consumo de ração por *G. sveni* e CT1. Os isótopos estáveis, por sua vez, demonstraram que apesar de não haver ração no conteúdo estomacal dos peixes em CT2 e na espécie carnívora, ocorreu a assimilação de ração. Essa não identificação de ração no estômago pode ser devido ao tempo de digestão entre o consumo de ração nos locais TR e a movimentação até CT2.

A associação entre a composição bromatológica da ração, substratos energéticos e isótopos estáveis, confirmou os altos níveis proteicos da ração assimilada pelas duas espécies. Dessa forma, pode-se sugerir que as concentrações dos substratos energéticos para as duas espécies foram influenciadas pela ingestão e assimilação de ração provenientes das pisciculturas. Observou-se ainda que sazonalidade e sexo foram fatores importantes que interferiram nos resultados observados, demonstrando que os machos e fêmeas podem vir a usufruir do fornecimento de energia das pisciculturas para a reprodução. Além disso, maiores valores de IHS nos locais onde ocorreu maior assimilação de ração em ambos os períodos sazonais, indicaram maiores reservas de energia.

Por fim, foi possível observar que as influências das pisciculturas em tanques-rede vão além do consumo de ração ou aumento na abundância de peixes e outros organismos no entorno dos tanques, como relatados em estudos anteriores. Os resultados aqui apresentados indicam que está ocorrendo influências em vários níveis tróficos e em locais onde não há pisciculturas em operação. Ainda, os resultados demonstraram que essa assimilação de ração promoveu alterações nas concentrações dos substratos energéticos, levantando questionamentos sobre as consequências dessas alterações fisiológicas para a reprodução dessas espécies. Essas altas concentrações de proteína e energia poderiam favorecer a reprodução e o crescimento dessas espécies, aumentando assim o estoque pesqueiro? Poderiam favorecer a manutenção dessas populações de espécies não nativas? Estudos futuros abrangendo a comunidade como um todo em uma série temporal maior e com espécies nativas fazem-se necessários para responder esses questionamentos. Os resultados aqui observados podem ainda fornecer informações aos piscicultores sobre as

consequências da perda de matéria orgânica para o ambiente aquático, como parâmetro para medidas mitigadoras que possam reduzir tal perda.