

Cichla kelberi NO RESERVATÓRIO DE JUPIÁ-SP: DIETA, BROMATOLOGIA E ASPECTOS PARASITOLÓGICOS



BRUNO DA SILVA

BOTUCATU, SÃO PAULO

2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS DE BOTUCATU

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU
LABORATÓRIO DE ECOLOGIA DE PEIXES – PIRÁ
LABORATÓRIO DE ESTUDOS EM FISIOLOGIA ANIMAL – LEFISA

***Cichla kelberi* NO RESERVATÓRIO DE JUPIÁ-SP: DIETA, BROMATOLOGIA E ASPECTOS**

PARASITOLÓGICOS

BRUNO DA SILVA

ORIENTADOR: PROF. DR. IGOR PAIVA RAMOS

COORIENTADORA: PROF^a DR^a CRISTIÉLE DA SILVA RIBEIRO

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Botucatu, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas – Área de concentração: Zoologia.

BOTUCATU, SÃO PAULO

2020

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

Silva, Bruno da.

Cichla kelberi no reservatório de Jupiá-SP : dieta, bromatologia e aspectos parasitológicos / Bruno da Silva. - Botucatu, 2020

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Igor Paiva Ramos

Coorientador: Cristiéle da Silva Ribeiro

Capes: 20502001

1. Peixe - Distribuição sazonal. 2. Tucunaré (Peixe). 3. Ácidos graxos. 4. Cadeia alimentar.

Palavras-chave: Influência sazonal; Perfil de ácidos graxos; Plasticidade alimentar; Qualidade de tecido muscular; Transferência trófica.

FLORES

Ninguém

oferece flores.

A flor,

em sua fugaz existência,

já é a oferenda.

Talvez, alguém,

de amor,

se ofereça em flor.

Mas só a semente

oferece flores.

(MIA COUTO, TRADUTOR DE CHUVAS)

DEDICO...

À minha mãe, a âncora que me sustenta em meio às ondas da vida.

*A todas e todos que nesse período passaram por minha vida, seja no âmbito
profissional, seja no pessoal.*

AGRADECIMENTOS

Com certeza há muita gente a quem agradecer... E tornar-se grato é uma das maneiras mais ímpares de avaliar que o processo foi árduo, mas não faltou apoio para superar cada uma das batalhas percorridas até aqui.

Primeiramente, deixo meus sinceros agradecimentos a Luiz Ferreira (*in memoriam*), meu padraсто, que por mais que ele não tenha alcançado em vida me ver terminando mais uma etapa, me ajudou imensamente. Obrigado, Luiz, por cuidar (em seu sentido mais amplo) da minha mãe por todo o tempo que vivi em Ilha Solteira.

Às instituições de ensino envolvidas nessa fase da minha vida: à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", ao Instituto de Biociências de Botucatu, à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, como também ao Departamento de Biologia e Zootecnia de Ilha Solteira e ao Programa de pós-graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) pelo apoio, quanto à utilização de suas dependências físicas e auxílio nos processos envolvidos para que fosse possível o pleno andamento do meu mestrado.

À concessão de bolsa de mestrado, processo nº 2018/00281-3, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), para a realização de todas as atividades que se fizeram presentes.

Ao Prof. Dr. Igor Paiva Ramos, que me orientou majestosamente em todas as etapas deste trabalho. É um profissional admirável que me ensinou muito sobre como ser melhor na minha vida acadêmica, contribuindo bastante em cada uma das correções que foram necessárias para que o texto da dissertação estivesse cada vez melhor, e que eu pudesse construir e reconstruir meus conhecimentos acerca do fazer pesquisa e contribuir com a Ciência em nosso país. Agradeço toda a paciência desprendida e pela compreensão sobre meus momentos mais difíceis. Com certeza, a Ciência carece de profissionais humanizados, e você me provou que além de profissional é um excelente ser humano.

À Prof^a Dr^a Cristiéle da Silva Ribeiro, coorientadora deste trabalho, que me ajudou imensamente em cada um dos processos que passei para chegar até aqui. Admiro muito seu trabalho por diversos motivos, e o principal deles é à sua maneira ímpar de encontrar saídas para todas as vezes que eu estive perdido, seja em âmbito profissional, seja na minha vida pessoal. Sou grato por toda a paciência, todas as conversas e aprendizados que pude construir com seu auxílio. Não é possível descrever toda a minha gratidão por você, mas espero que um dia eu seja um profissional tão bom e empenhado como você é. Grato por tudo!

Ao José Daniel (ou Zé), foi a pessoa com quem mais convivi nesse período. Um irmão que o mestrado me deu, e que tenho imenso carinho e respeito. Ao escrever os agradecimentos, passaram-me à mente todas as nossas “aventuras” que tivemos durante os eventos científicos ou durante as disciplinas cursadas. Foi demais! Muito obrigado por me aguentar reclamar sempre, ainda mais quando eu colocava a Filosofia no meio das nossas conversas. Porém, acho que sagitarianos se entendem (risos). Meu muito obrigado, Zé, você é uma pessoa a quem se inspirar, desejo-te sucesso em dobro, sempre.

À Cibeles, mais uma joia rara deste laboratório! (e não estou sendo sarcástico, eu te admiro muito!) Sou muito grato por nossas conversas seja sobre meu projeto de pesquisa, aliás, sobre todo o auxílio que você sempre me deu, sejam as conversas em nossas caminhadas (poucas), repletas de desabafos e trocas de experiências. Muito obrigado pela amizade e honestidade!

À Bruna, a pessoa que entende de estatística, você é uma inspiração para mim! Admiro sua forma de levar a vida e de encarar a pesquisa científica. Sem dúvida eu não poderia deixar de mencionar o papel fundamental que você desempenhou para que eu entendesse pelo menos o básico dos testes estatísticos que realizei neste trabalho. Ah, nunca vou esquecer Toledo!

À Dr^a Lidiane Franceschini. Acredito que você é uma das pessoas mais sensíveis que conheci, além de esbanjar atenção. Amo nossas conversas em laboratório, e os bolos que você traz (risos). Sou ainda mais grato a todas as vezes que eu precisei de ajuda em laboratório, e você me auxiliou. Meu muito obrigado!

À Bianca, que é a pessoa de mesmo senso de humor que o meu, e que me fez rir todas as vezes que precisava ouvir uma piada diferente. Bom, você sabe que seu sarcasmo é preponderante, e seu ser é maravilhoso. Sou grato por tudo!

Ao Lucas e à Letícia que me ajudaram imensamente nas coletas para realização deste trabalho. Vocês foram sensacionais!

A todos os integrantes dos Laboratório de Ecologia de Peixes (PIRÁ) e Laboratório de Estudos em Fisiologia Animal (LEFISA). Vocês formam uma equipe inigualável e de muito sucesso!

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos de Laurentiz por ter permitido que as análises bromatológicas fossem realizadas nas dependências do Laboratório de Bromatologia, UNESP, FEIS. Como também, meus sinceros agradecimentos ao Sidival, por nos ter dado assistência na realização das análises bromatológicas durante todo esse processo.

Ao pessoal do Laboratório de Metabolismo e Reprodução de Organismos Aquáticos, da Universidade de São Paulo (USP), supervisionado pela Prof^a Dr^a Renata Guimarães Moreira Whitton, por nos permitir realizar a etapa final das análises dos ácidos graxos.

Aos pesquisadores da banca examinadora da qualificação e defesa Dr. João Henrique Pinheiro Dias, Prof. Dr. Alexandre Ninhaus Silveira, Dr^a Aline Dal'Olio Gomes e Prof^a Dr^a Rosilene Luciana Delariva por terem aceitado compor a banca, além de todas as contribuições para este trabalho.

Às pessoas que moraram comigo na república Repintada, Thalita, Renan, Dani, Aymar, Danilo, Yasmin, Paulo, Ana, Amanda (e a mãe dela) e Miguel, lugar que fiz meu lar durante o mestrado! Apesar de eu ser o morador mais distante da turma, eu adorava rir com vocês e das loucuras que vocês faziam e fazem. Desejo a cada um muito sucesso em toda caminhada!

À mulher mais importante da minha vida, Rosa, minha mãe. Só nós dois sabemos o que passamos até aqui, né?! Você não é só mãe, é a minha melhor amiga, "pau pra toda obra". Você sabe que minhas escolhas foram pautadas em mim, no meu

querer, mas que eu sempre pensei em você em cada uma delas, e te agradeço imensamente por sempre me apoiar nas minhas idas e vindas. Você é meu símbolo de luta e minha ancoragem nos momentos felizes e nos difíceis da vida. Amo-te.

Aos meus irmãos, Lucas e Beatriz, que eu mal consegui ver que eles cresceram tanto. Quando fui para Ilha Solteira estudar e apostar em um futuro melhor vocês eram crianças. Hoje, são dois adultos também lutando pelos seus sonhos, e eu fico muito feliz por tê-los ao meu lado. Amo muito vocês!

À Maira e Yrina, amigas que mesmo longe sempre estão comigo, desabafando e me fazendo refletir sobre o peso que as amizades têm. Amo vocês.

Por fim, quero agradecer a outros "seres"... Obrigado Planeta Terra, que ainda é redonda, por nos sustentar, e ter me dado a oportunidade de visitar lindos lugares nesse período. Como também, ao meu violão... Durante o mestrado eu descobri outra paixão em minha vida: a música. Foi com ela que venci e ultrapassei crises de ansiedade, deixei de pensar em desistir quando não via mais sentido em nada, e que toquei até o dedo doer para os dias ruins passarem mais rápido.

Meu muito obrigado a todas e a todos!

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIACÕES.....	X
RESUMO GERAL.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO I.....	XIV
RESUMO	15
INTRODUÇÃO	16
MATERIAL E MÉTODOS	19
ÁREA DE ESTUDO	19
COLETA DE DADOS	19
DADOS BIOMÉTRICOS	21
CONTEÚDO ESTOMACAL.....	22
ÁCIDOS GRAXOS (FAs).....	23
RESULTADOS.....	26
DIETA	26
VARIAÇÃO INTRAESPECÍFICA DA COMPOSIÇÃO DA DIETA.....	27
PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS	28
DISCUSSÃO.....	31
AGRADECIMENTOS.....	36
REFERÊNCIAS	37
MATERIAL SUPLEMENTAR	42
CAPÍTULO II	44
RESUMO	45
INTRODUÇÃO	46
MATERIAIS E MÉTODOS	50
LOCAL DE COLETA.....	50
COLETA DE DADOS	50
DADOS BIOMÉTRICOS	51
ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA	52
ANÁLISE DE ÁCIDOS GRAXOS (FAs).....	54
ANÁLISE PARASITOLÓGICA	55
RESULTADOS.....	57
ANÁLISE BROMATOLÓGICA	57
PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS (FAs).....	58

ANÁLISE PARASITOLÓGICA	60
DISCUSSÃO.....	62
AGRADECIMENTOS.....	69
REFERÊNCIAS	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	LXXV

LISTA DE ABREVIACÕES

ANA – Agência Nacional de Águas

ARA – ácido araquidônico do inglês "*arachidonic acid*"

CESP – Companhia Energética de São Paulo

CZ - cinzas

DHA - ácido docosahexaenoico do inglês "*docosahexaenoic acid*"

EE – extrato etéreo

EPA – ácido eicosapentaenoico do inglês "*eicosahexaenoic acid*"

FA – ácido graxo do inglês "*fatty acid*"

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MS – massa seca

MUFA – ácido graxo monoinsaturado do inglês "*monounsaturated fatty acid*"

NEPA – Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação

n-3 – ácidos graxos ômega 3

n-6 – ácidos graxos Ômega 6

PB – proteína bruta

PUFA – ácido graxo polinsaturado do inglês "*polyunsaturated fatty acid*"

TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

SFA – ácido graxo saturado do inglês "*saturated fatty acid*"

UD – umidade

Estimado(a) leitor(a), esta dissertação está organizada da seguinte maneira:

Dois capítulos escritos segundo recomendações e regras para serem publicados como artigos científicos, e serão submetidos aos periódicos científicos *Iheringia. Série Zoologia* e *Aquaculture Nutrition*, respectivamente. Há um tópico final intitulado “Considerações Finais” incorporado ao texto a fim de torná-lo mais coeso.

RESUMO GERAL

Cichla kelberi é uma espécie de peixe nativa da bacia hidrográfica do rio Amazonas e Tocantins-Araguaia e introduzida no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil. Sua introdução proporcionou a pesca esportiva e comercial da espécie nesse reservatório, pois apresenta tecido muscular com características organolépticas (odor, sabor, textura e cor) apreciadas pela população, tornando-se um importante recurso pesqueiro nessa região. *Cichla kelberi* é considerada uma espécie carnívora/piscívora na maioria dos reservatórios em que ocorre, porém, também é caracterizada por apresentar plasticidade alimentar, uma característica peculiar a um animal topo de cadeia alimentar, o que pode ser acentuada com as variações sazonais, contribuindo com seu sucesso nos reservatórios. Diante das possíveis alterações na dieta, *C. kelberi* pode sofrer modificações metabólicas em períodos específicos do ano, e ter sua composição bromatológica e perfil de ácidos graxos (FAs) teciduais (fígado e músculo) alterados. Além disso, aspectos parasitários também são fortemente importantes para sanidade do pescado e qualidade alimentar. Assim, investigamos as seguintes hipóteses: 1) *C. kelberi* apresenta plasticidade alimentar no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil, a qual influencia o perfil de FA no tecido hepático nos períodos chuvoso e seco; 2) há diferença na qualidade química (composição bromatológica e perfil de FAs) e parasitológica do tecido muscular de *C. kelberi*, entre os períodos chuvoso e seco, sendo considerado adequado para o consumo humano. A dieta de 25 espécimes por coleta (estação seca e chuvosa) foi analisada pelo método gravimétrico, sendo observadas diferenças significativas entre os períodos chuvoso e seco (Permanova *one-way*), para amplitude de nicho trófico e variabilidade individual (PERMDISP). Os itens mais importantes para tais diferenças foram *Macrobrachium* sp. e fragmentos de peixe, com maior variedade de itens alimentares observada no período chuvoso, sugerindo que a espécie seja carnívora/carcinófaga. Foram analisados por cromatografia gasosa o perfil de ácidos graxos dos tecidos hepático e muscular, do conteúdo estomacal e de *Macrobrachium* sp.. A alteração na dieta entre os períodos pode ter causado a diferenciação do perfil de ácidos graxos hepático e muscular, com grande contribuição de C22:6n3 (DHA, ácido docosahexaenoico), C20:5n3 (EPA, ácido eicosapentaenoico) e C20:4n6 (ARA, ácido araquidônico), com a participação de ácidos graxos de origem vegetal, como C18:2n6 e C18:3n3. Foi caracterizada a composição bromatológica do tecido muscular, não sendo observada diferença significativa entre períodos de coleta, com composição bromatológica esperada para espécies carnívoras. A inspeção realizada por meio de mesa transparente com luz para visualização de cistos parasitários não encontrou larvas encistadas no tecido muscular, concluindo que a espécie apresenta qualidade química e é segura para o consumo humano do ponto de vista parasitológico no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil. Além disso, os resultados aqui apresentados demonstram que *C. kelberi* consegue se manter estável e que a plasticidade alimentar pode ser essencial para seu sucesso nos reservatórios.

Palavras-chave: Influência sazonal, Plasticidade alimentar, Qualidade de tecido muscular, Transferência trófica, Perfil de ácidos graxos, Tucunaré amarelo.

ABSTRACT

Cichla kelberi is a native fish to the basin of the Amazon River and Tocantins-Araguaia and was introduced in the Jupia Reservoir, upper Paraná River, Brazil. The introduction provided sport and commercial fishing of the species in this reservoir, because of organoleptic characteristics, including flavor, texture and color present on the muscular tissue that is appreciable by the population, becoming an important fishing resource in this region. *Cichla kelberi* is considered a carnivorous/piscivorous species in most of the reservoirs in which it occurs. However, it is characterized by presenting food plasticity, a characteristic peculiar to a carnivorous animal in the food chain, which can be accentuated with seasonal variations, contributing to its success in the reservoirs. According to possible changes in the diet, *C. kelberi* may undergo metabolic changes at specific season year and have its chemical composition and tissue fatty acid (FA) profile (liver and muscle) altered. Furthermore, parasitic aspects are also important for fish health and food quality. Thus, we investigate the following hypotheses: 1) *C. kelberi* presents food plasticity in the Jupia Reservoir, upper Paraná River, Brazil, which influences the FA profile in liver tissue in the rainy and dry periods; 2) There is a difference in the chemical quality (chemical composition and FA profile) and parasitological quality of the muscle tissue of *C. kelberi*, between the rainy and dry periods, being appropriated for human consumption. The diet of 25 specimens per collection (rainy and dry season) was analyzed by the gravimetric method, with significant difference between rainy and dry periods (Permanova one-way), for trophic niche amplitude and individual variability (PERMDISP). The most important items for such differences were *Macrobrachium* sp. and fish fragments, with a greater variety of food items observed in the rainy season, suggesting that the species is carnivorous/carcinophagous. The fatty acid profile of the liver and muscle tissues, stomach contents and *Macrobrachium* sp. were analyzed by gas chromatography. The change in diet between periods may cause differentiation on the liver and muscle fatty acid profile, with large contribution of C22:6n3 (DHA, docosahexaenoic acid), C20:5n3 (EPA, eicosapentaenoic acid) and C20:4n6 (ARA, arachidonic acid), with participation of fatty acids of vegetable origin, such as C18:2n6 and C18:3n3. The chemical composition of muscle tissue was characterized, with no significant difference between periods, with expected chemical composition for carnivorous species. The inspection carried out by means of a transparent table with light to view parasitic cysts did not find larvae encysted in the muscle tissue, concluding that the species has chemical quality and is safe for human consumption from the parasitological viewpoint in the Jupia Reservoir. In addition, the results presented here demonstrate that *C. kelberi* is endogenously stable and that food plasticity may be essential for success in reservoirs.

Keywords: Seasonal influence, Food plasticity, Muscle tissue quality, Trophic transfer, Fatty acid profile, Yellow peacock bass.

CAPÍTULO I

PLASTICIDADE ALIMENTAR E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS HEPÁTICO DE
Cichla kelberi (KULLANDER & FERREIRA, 2006) NO RESERVATÓRIO DE JUPIÁ,
ALTO RIO PARANÁ, BRASIL

PLASTICIDADE ALIMENTAR E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS HEPÁTICO DE *Cichla kelberi* (KULLANDER & FERREIRA, 2006) NO RESERVATÓRIO DE JUPIÁ, ALTO RIO PARANÁ, BRASIL

Bruno da Silva¹, José Daniel Soler Garves¹, Bruna Caroline Kotz Kliemann¹, Cristiële da Silva Ribeiro², Igor Paiva Ramos^{1,2}

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu. Rua Prof. Dr. Antônio Celso Wagner Zanin, 250, 18618-689, Botucatu, SP, Brasil.

²Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira. Rua Monção, 226, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil.

e-mail: bsilva.bio@outlook.com

RESUMO

Este estudo objetivou investigar a seguinte hipótese: *Cichla kelberi* apresenta plasticidade alimentar no reservatório de Jupiá, alto rio Paraná, Brasil, a qual influencia o perfil de ácidos graxos no tecido hepático nos períodos chuvoso e seco. A dieta de 25 espécimes foi analisada pelo método gravimétrico, sendo observadas diferenças significativas entre os períodos chuvoso e seco (Permanova *one-way*), como também para amplitude de nicho trófico e variabilidade individual (PERMIDISP). Os itens mais importantes para tais diferenças foram *Macrobrachium* sp. e fragmentos de peixe, com maior variedade de itens alimentares observada no período chuvoso, sugerindo que a espécie seja carnívora/carcinófaga para este reservatório. Foi analisado o perfil de ácidos graxos do tecido hepático por cromatografia gasosa e análise de comparação de tempos de retenção do padrão Supelco 37. A alteração na dieta entre os períodos pode ter causado a diferenciação do perfil de ácidos graxos hepático (Permanova *one-way*), com grande contribuição de C22:6n3 (DHA, ácido docosahexaenoico), C20:5n3 (EPA, ácido eicosapentaenoico) e C20:4n6 (ARA, ácido araquidônico), com a participação de ácidos graxos de origem vegetal, como C18:2n6 e C18:3n3. Os resultados aqui apresentados demonstram que *C. kelberi* consegue se manter estável endogenamente e que a plasticidade alimentar é essencial para seu sucesso nos reservatórios.

Palavras-chave: Amplitude de nicho trófico, Variabilidade individual, Metabolismo lipídico, Tucunaré amarelo, Influência sazonal.

INTRODUÇÃO

Cichla kelberi Kullander & Ferreira, 2006, é uma espécie de peixe nativa das bacias hidrográficas Amazônica e do rio Tocantins-Araguaia, no Norte do Brasil (KOVALENKO *et al.*, 2010), e foi introduzida no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, possuindo importância na pesca esportiva e comercial (CESP, 2008; MARUYAMA *et al.*, 2010). Essa espécie tem características que a tornam economicamente importante, tais como a abundância no reservatório de Jupia (MARQUES, 2019) e filé com boas características organolépticas (ESPÍNOLA *et al.*, 2010).

Cichla kelberi é conhecida por ser uma espécie carnívora voraz, por ser originalmente oriunda de ambientes lânticos e de águas transparentes, e por colonizar reservatórios artificiais de usinas hidrelétricas com facilidade (ESPÍNOLA *et al.*, 2010). Esses reservatórios proporcionam a *C. kelberi* boa acuidade visual, facilitando a captura de diferentes presas, resultando em relativa plasticidade alimentar (KOVALENKO *et al.*, 2010; MENDONÇA *et al.*, 2018).

Em áreas de ocorrência não natural, como no reservatório de Juturnaiba (RJ, Brasil), *C. kelberi* apresentou dieta composta principalmente de peixes, insetos e vegetais, com elevado canibalismo nos diferentes períodos sazonais analisados (MENDONÇA *et al.*, 2018). No reservatório de Lajes (RJ, Brasil), a espécie consumiu principalmente peixes, insetos, camarões (*Macrobrachium* sp. Bate, 1888) e vegetais (SANTOS *et al.*, 2011). Além disso, a dieta dessa espécie pode incluir táxons de peixes nativas (*Acestrorhynchus lacustris* (Lütken, 1875), *Hoplias* sp. (Bloch, 1794), *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816)), como observado no reservatório de Porto Primavera, alto rio Paraná, SP, Brasil (PEREIRA *et al.*, 2014).

Os mecanismos de introdução de espécies combinado à plasticidade alimentar resulta em um alto grau de aclimação no novo habitat, sendo que no caso de espécies carnívoras, tais

fatos podem reduzir populações de espécies nativas (GARCIA *et al.*, 2018). Tal evento foi registrado no reservatório de Rosana, (alto rio Paraná, SP, Brasil), onde *C. kelberi* ocasionou a diminuição exponencial da riqueza de espécies de peixes nativas entre os anos de 2003 e 2007 (PELICICE & AGOSTINHO, 2009). No lago Gatún (Panamá), onde *Cichla ocellaris* (Bloch e Schneider, 1801) foi introduzido em 1967 (relato mais antigo de introdução desse gênero no continente americano), a diminuição de riqueza de espécies de peixes nativas também pôde ser observada, fazendo com que o governo tomasse medidas para controle de sua população (ZARET & PAINE, 1973).

A transferência energética na estrutura de cadeias tróficas unida à capacidade de aclimação em reservatórios e dieta variada de *C. kelberi*, possivelmente leva a oscilações metabólicas espaço-temporais, principalmente relacionadas ao perfil de ácidos graxos (FAs) do tecido hepático, os quais apresentam potencial de servir como biomarcadores, já que são utilizados para inferência da qualidade ambiental (YOUSAFZAI & SHAKOORI, 2009; OLIVARES-RUBIO & VEGA-LÓPEZ, 2016). Além disso, a utilização de FAs, unida à análise de isótopos estáveis, podem oferecer resultados robustos acerca dos itens dietários consumidos pelas espécies, podendo determinar quais as relações entre item alimentar e presas consumidas na estrutura das cadeias tróficas, sendo possível inferir quais as fontes dos itens alimentares compõem a dieta das espécies (YOUSAFZAI & SHAKOORI, 2009; FIGUEIREDO, 2014; OLIVARES-RUBIO & VEGA-LÓPEZ, 2016).

A análise do perfil de FAs teciduais também possibilita a relação dieta e energia utilizada durante o período reprodutivo para peixes, já que os fatores sazonais influenciam aspectos metabólicos, como a reprodução (BENNEMANN *et al.*, 1996). Neste sentido, o tecido hepático é responsável pela mobilização de energia para a reprodução, por meio dos hepatócitos que recrutam substratos energéticos (proteínas, lipídeos e glicogênio) dos tecidos adiposo e muscular, subsidiando o desenvolvimento das gônadas no período reprodutivo

(BUREAU *et al.*, 2002). Portanto, conhecer a dieta das espécies é de suma importância para se entender o seu papel nas atividades metabólicas e sua contribuição para os perfis de FAs (IZQUIERDO *et al.*, 2005). A relação entre ácidos graxos polinsaturados das séries n-3 e n-6 (PUFA) podem ser diminuídas no tecido hepático durante o período reprodutivo. Contudo, pode ocorrer aumento de ácidos graxos saturados (SFA) e monoinsaturados (MUFA), pois estes atuam em funções energéticas (crescimento, natação e reprodução) em peixes (ANIDO *et al.*, 2015).

A bibliografia é escassa com relação a abordagem da dieta e metabolismo em peixes, principalmente no que tange às espécies introduzidas em reservatórios artificiais. A importância em se entender essa dinâmica, em especial para espécies não-nativas, está na contribuição com o conhecimento biológico, auxiliando na compreensão de como a dieta pode influenciar o metabolismo da espécie em área de ocorrência não natural, e suas implicações para o sucesso de invasão.

Dessa maneira, o presente estudo buscou testar a seguinte hipótese: *Cichla kelberi* apresenta plasticidade alimentar no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil, a qual influencia o perfil de FA no tecido hepático nos períodos chuvoso e seco. Desse modo, objetivou-se testar as seguintes predições: 1) há divergências na composição da dieta entre os períodos chuvoso e seco no reservatório de Jupia; e 2) a composição de FAs hepáticos é influenciada por essa divergência dietética sazonal, uma vez que a metabolização hepática está associada aos recursos alimentares consumidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

As coletas dos exemplares de *C. kelberi* foram realizadas no reservatório da Usina Hidrelétrica Engenheiro Souza Dias, Jupiá. O reservatório está localizado na bacia hidrográfica do alto rio Paraná, entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, Brasil (20°28'25,1" S; 51°25'57,8" W) (Fig. 1). Foi formado em 1969, a partir da construção de uma barragem de 5.495 m de comprimento e possui uma área de reservatório de 330 km², com perímetro de 482 km, profundidade média de 6,8 m, volume de 3.680x10⁶ m³, vazão média de longo termo de 6.158 m³.s⁻¹ e tempo médio de residência da água de 6,9 dias (CESP, 2009).

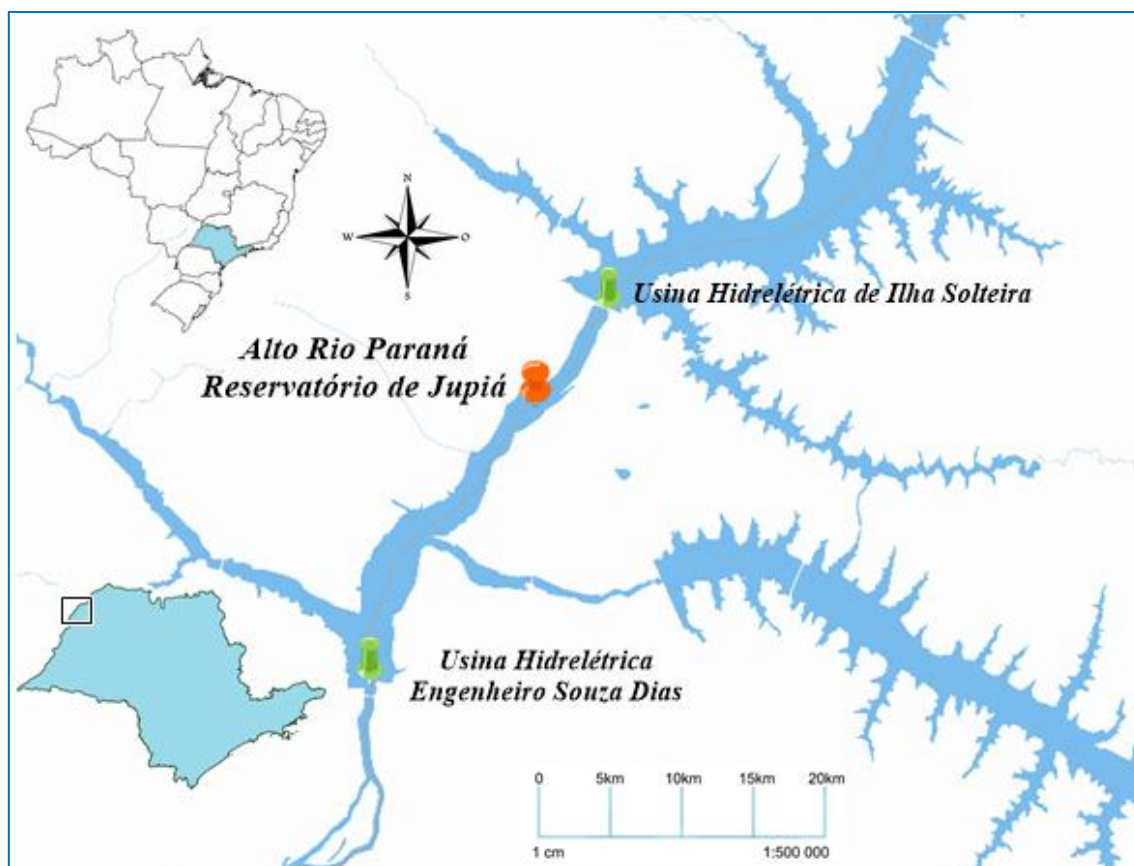


Fig. 1. Mapa do Brasil (superior) e estado de São Paulo (inferior), com a localização do reservatório de Jupiá (esquerda), alto rio Paraná. Marcador vermelho: local de amostragem.

Coleta de dados

Foram realizadas duas coletas, uma ao final do período chuvoso (março de 2018) e outra ao final do período seco (agosto de 2018), no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, com a utilização de vara com carretilha e iscas artificiais. Dados de precipitação e nível da água para o período de coleta encontram-se na Fig. 2. Ainda, observou-se vazão média do reservatório de $3.723,58 \pm 61,42 \text{ m}^3/\text{s}$ no período chuvoso e de $3.713 \pm 50,65 \text{ m}^3/\text{s}$ no período seco, conforme relatórios diários (período de 01/01/2018 a 30/03/2018 corresponde ao período chuvoso e 01/06/2018 a 31/08/2018 ao período seco) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018).

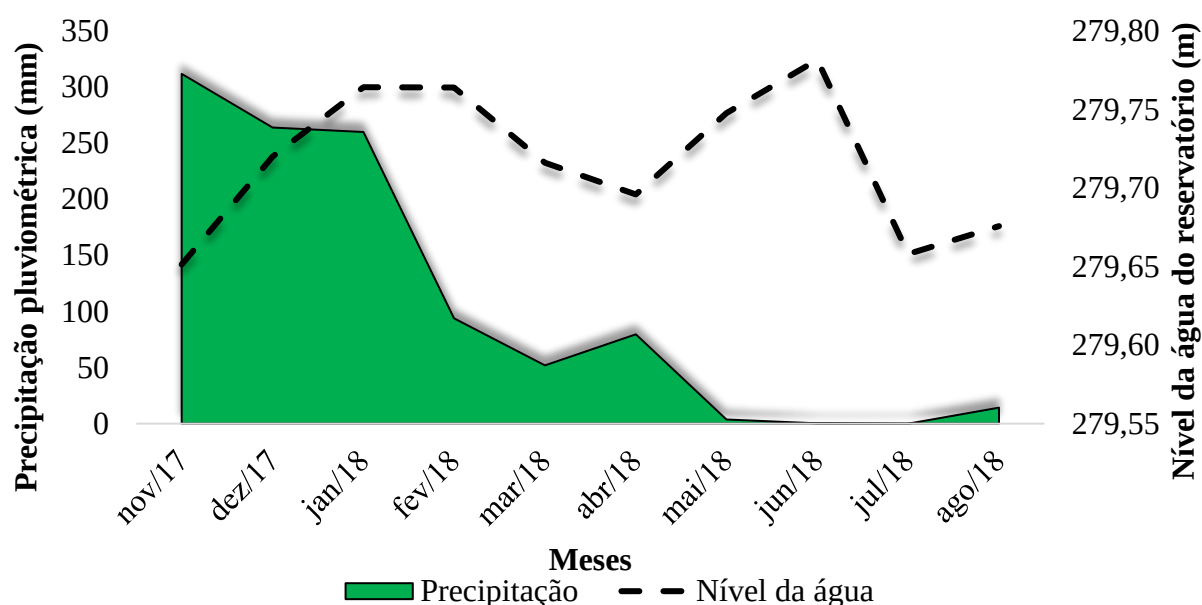


Fig. 2. Dados pluviométricos (mm) e nível da água (m) do reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil (dados retirados de <<http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/diversos-ahi.php>>, acesso em 24.09.2019, Laboratório de Hidráulica e Irrigação, UNESP, Ilha Solteira, SP).

Concomitante às coletas foram mensuradas as variáveis limnológicas (temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, potencial de redução, sólidos totais dissolvidos, saturação de oxigênio e a transparência, utilizando sonda Horiba U-53 e disco de Secchi). Todos os dados mensurados quanto à qualidade da água do reservatório de Jupia nos dois períodos de coleta são apresentados na Tab. I.

Tab. I. Valores de variáveis limnológicas analisadas no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil.

Coordenadas do ponto de coleta: -20.509271, -51.455462		
	Chuvoso	Seco
Temperatura (°C)	27,9	21,97
Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,36	8,15
pH	6,36	5,89
Condutividade elétrica (S/cm)	0,054	0,063
Potencial de redução (Mv)	198	180
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	0,035	0,041
Transparência (m)	3,23	6,3
Saturação de oxigênio (%)	81,9	95,3
Profundidade de medição: 1 m	Horário de medição: 9h34min	Horário de medição: 9h59min

Dados biométricos

Foram capturados 25 espécimes adultos por coleta (Autorização SISBio nº 61669-1 e SisGen nº ADBAC93) e imediatamente dessensibilizados com o uso de gelo e eutanasiados por secção da medula espinhal na altura do opérculo ainda em campo (CEUA/FEIS- 05/2018). Posteriormente, foram mensurados a massa total com o uso de balança (0,01g), comprimento padrão com o uso de ictiômetro (0,01g) e o sexo determinado visualmente. Não foram observadas diferenças entre machos e fêmeas quanto a comprimento padrão e massa total (teste *t* de Student - SigmaStat®, versão 4.1). Também não foram observadas diferenças entre sexo para composição da dieta e o perfil de ácidos graxos dos tecido hepático para os períodos de coleta (teste PERMANOVA two-way, sexo (macho x fêmea) x período de coleta (chuvoso x seco), baseado na distância mensurada, nesse caso a distância de Bray-Curtis, através do software Primer 6, versão 6.1.13 e Permanova+, versão 1.0.3, consulte <https://www.primer-e.com/our-software/permanova-add-on/>, acessado em 18 de fevereiro de 2020 (Tab. II). Desta forma, todos os exemplares de cada coleta foram agrupados independentemente do sexo.

Tab. II. Comparação entre comprimento padrão, massa total, dieta e perfil de ácidos graxos de machos e fêmeas nos períodos chuvoso e seco.

	Período Chuvoso		Período Seco	
Biometria/Análises biológicas	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea
Massa Total	n = 8	n = 17	n = 10	n = 15
	Teste <i>t</i> -1,446 p= 0,162		Teste <i>t</i> -1,799 p=0,127	
Comprimento Padrão	n = 8	n = 17	n = 10	n = 15
	Teste <i>t</i> -1,584 p=0,085		Teste <i>t</i> -1,879 p=0,073	
Dieta	n = 8	n = 14	n = 9	n = 14
	Permanova two-way DF = 1; F = 0,58749; p = 0,677			
Ácidos Graxos (tecido hepático)	n = 7	n = 11	n = 10	n = 9
	Permanova two-way DF = 1; F = 0,31355; p = 0,359			

* n = número de indivíduos aferidos na biometria e utilizados nas análises biológicas deste trabalho.

Conteúdo estomacal

Após a eutanásia e biometria foi realizada a retirada dos estômagos de 25 exemplares, os quais foram fixados em formol 4% e conservados em álcool 70% até o momento das análises em laboratório. Os conteúdos estomacais foram examinados sob estereomicroscópio e os itens alimentares considerados isoladamente, identificados até o menor nível taxonômico possível, utilizando as chaves de identificação de MUGNAI *et al.* (2010) para invertebrados e OTA *et al.* (2018) para peixes. Posteriormente, os itens foram quantificados de acordo com o método gravimétrico (HYSLOP, 1980), para o qual foi utilizada a massa de cada item, em balança analítica de precisão (0,0001 g). Quando tal procedimento não foi possível, como no caso de pequenos itens, foi atribuído porcentagem em relação à massa total do conteúdo estomacal.

Para minimizar o efeito do tamanho do peixe sobre as análises, ajustou-se os valores de massa do item alimentar à massa do peixe ($WFA = MI/MT$), onde MI é a massa do item alimentar e MT a massa do peixe (AHLBECK *et al.*, 2012). Os resultados da composição da dieta foram expressos por meio da porcentagem da massa (g) de cada item alimentar, em relação a massa total consumida.

As guildas tróficas foram determinadas a partir da matriz do conteúdo estomacal por meio de procedimento adaptado de MÉRONA *et al.* (2001): mais de 50% de peixes: piscívora; mais de 50% de crustáceos: carcinófaga; mais de 50% de itens de origem animais variados: carnívora.

Para testar possíveis diferenças na composição da dieta dos exemplares de *C. kelberi* entre os períodos chuvoso e seco, utilizou-se a análise PERMANOVA *one-way*. Este teste não paramétrico avalia diferenças significativas entre grupos, baseado na distância mensurada, nesse caso a distância de Bray-Curtis. Posteriormente, em caso de serem observadas diferenças, a fim de verificar quais os itens alimentares foram responsáveis e sua contribuição para as diferenças, foi aplicado o método de Porcentagem de Similaridade (SIMPER *overall pool*) (Primer 6, versão 6.1.13 e Permanova+, versão 1.0.3, consulte <https://www.primer-e.com/our-software/permanova-add-on/>, acessado em 18 de novembro de 2019) (CLARKE, 1993).

Foi realizada a análise permutacional de dispersão multivariável (PERMIDISP) para avaliar a variabilidade individual intraespecífica dos dados de dieta. Essa análise é realizada em um espaço multivariado de coordenadas principais, com base nas distâncias médias das amostras em relação à média do grupo (centroide), o que permite verificar a homogeneidade da dieta da espécie (NEVES *et al.*, 2018). Para isso foi utilizada a função *betadisper*, e o pacote *Vegan* (J.O. ksanen, F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, E. Szoecs e H. Wagner, retirado de <https://cran.r-project.org>; <https://github.com/vegandevs/vegan>, acessado em 18 de novembro de 2019) para compor os *scripts* no ambiente do *software* RStudio® (versão 3.2.3, R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria).

Ácidos graxos (FAs)

Frações do tecido hepático de 18 exemplares (período chuvoso) e 19 exemplares (período seco) de *C. kelberi* foram coletados e armazenados em criotubos ainda em campo e reservados em nitrogênio líquido. Posteriormente, em laboratório, as amostras foram acondicionadas em freezer -80 °C para as análises de FAs.

Os lipídios totais teciduais foram extraídos com uma mistura de clorofórmio: metanol: água (2:1:0,5) (FOLCH *et al.*, 1956) adaptada por PARRISH (1998). A partir da metilação das amostras (para formação dos metis ésteres) pelo método de KITSON *et al.* (1996), que utiliza o cloreto de acetila e metanol como catalisadores da reação, os FAs foram analisados em cromatografia gasosa (GC), acoplada a um ionizador de chama (FID) (VARIAN GC 3900). O perfil de FAs foi determinado com o cálculo de tempo de retenção, utilizando-se um padrão de FAs com tempo de retenção conhecido (Supelco, 37 components). Para a análise dos FAs foi utilizada uma programação no cromatógrafo com as características descritas a seguir: a leitura foi iniciada a uma temperatura de 170 °C mantida por 1 minuto e em seguida por uma rampa de 2.5 °C/minuto, até atingir a temperatura final de 220 °C, que foi mantida por cinco minutos. O injetor e o detector foram mantidos a 250 °C. Foi utilizada uma coluna CP wax 52 CB, com espessura de 0,25 mm, diâmetro interno de 0,25 µm e 30 m de comprimento, tendo o hidrogênio como o gás de arraste. O procedimento foi realizado no Laboratório de Metabolismo e Reprodução de Organismos Aquáticos, da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil.

Para testar possíveis diferenças nos perfis de FAs dos exemplares de *C. kelberi* entre os períodos chuvoso e seco, utilizou-se a análise PERMANOVA *one-way*, utilizando-se a distância de Bray-Curtis. Posteriormente, em caso de serem observadas diferenças, a fim de verificar quais FAs foram responsáveis e sua contribuição para as diferenças, foi aplicado o método de Porcentagem de Similaridade (SIMPER *overall pool*) (Primer 6, versão 6.1.13 e Permanova+, versão 1.0.3, consulte <https://www.primer-e.com/our-software/permanova-addon/>, acessado em 18 de novembro de 2019) (CLARKE, 1993).

Uma análise de escala multidimensional não métrica (nMDS) foi realizada para sumarizar os dados de FAs para ambos períodos (chuvoso e seco) e FAs metabolicamente importantes de acordo com a SIMPER *overall pool*, como DHA, EPA, ARA, C18:2n6, C18:3n3, C16:1 e C18:1. Para tanto, os valores do índice de dissimilaridade de Bray-Curtis foram calculados com base em uma matriz de dados transformados em raízes quadradas para os percentuais totais de cada classe de FAs. Foi obtido um índice de confiança (estresse) da proximidade da representação gráfica nos resultados do nMDS com os dados reais. Os valores de tensão menores que 0,20 indicam que a nMDS bidimensional (2-D) pode ser utilizada para representar os dados (KLIEMANN *et al.*, 2019). Para isso foi utilizada a função *metaMDS*, e o pacote Vegan (J.O. ksanen, F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, E. Szoecs e H. Wagner, retirado de <https://cran.r-project.org>; <https://github.com/vegandevs/vegan>, acessado em 18 de novembro de 2019) para compor os *scripts* no ambiente do *software* RStudio® (ver. 3.2.3, R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria).

O nível de significância estatística adotado para todas as análises estatísticas realizadas foi de 0,05. Exemplares testemunho da espécie serão depositados na coleção ictiológica da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" de São José do Rio Preto, SP, Brasil.

RESULTADOS

Dieta

Dentre os 50 estômagos avaliados, três não apresentaram conteúdo estomacal no período chuvoso e dois no período seco. Foram registrados 14 itens alimentares no total (período chuvoso e seco agrupados). No período chuvoso a dieta de *C. kelberi* foi composta por 10 itens alimentares: *Macrobrachium* sp., seguido de fragmento de peixe e itens de origem animal (*Astyanax* sp. (Baird & Girard, 1854), *Cichla* sp. (Block e Schneider, 1801), e Characiforme), os mais consumidos (Fig. 3 e Tab. III). No período seco, a dieta de *C. kelberi* foi composta por quatro itens alimentares, sendo *Macrobrachium* sp. e fragmento de peixe os mais importantes (Fig. 3 e Tab. III).

Tab. III. Composição da dieta expressa pela porcentagem da massa úmida de cada item alimentar (Wi) para *Cichla kelberi* nos períodos chuvoso e seco no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil.

	Período Chuvoso	Período Seco
Itens	Wi (%)	Wi (%)
Crustacea		
<i>Macrobrachium</i> sp.	58,96	86,49
Characiforme	2,55	-
Fragmento de peixe	26,66	12,99
Characidae		
<i>Astyanax</i> sp.	3,60	-
Cichlidae		
<i>Cichla</i> sp.	1,39	-
Sedimento	4,16	0,53
Vegetal		
Fragmento vegetal	2,69	-
Sementes	<0,01	-
Zooplâncton		
Cladocera	<0,01	<0,01
Copepoda	<0,01	-
Total de Itens Alimentares	10	4

Houve diferenças na composição da dieta de *C. kelberi* entre os períodos chuvoso e seco (PERMANOVA *one-way* – Chuvoso x Seco DF = 1; F = 20,354; p = 0,001). A

dissimilaridade total para a composição da dieta foi de 93,14% e os itens que mais contribuíram para esta diferença foram: *Macrobrachium* sp., fragmento de peixe e *Astyanax* sp. (Baird & Girard, 1854), segundo análise SIMPER *overall pool* (Tab. IV).

Tab. IV. Contribuição e média da massa dos itens alimentares segundo análise SIMPER, para *Cichla kelberi* nos períodos chuvoso e seco no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil.

Itens alimentares	Contribuição %	Média de abundância	
		Período Chuvoso	Período Seco
<i>Macrobrachium</i> sp.	61,39	0,273297047	0,001632411
Fragmento de peixe	27,75	0,123576328	0,000245326
<i>Astyanax</i> sp.	2,65	0,016674603	0
Fragmento vegetal	2,55	0,012477028	0
<i>Cichla</i> sp.	2,39	0,011804297	0
Sedimentos	1,69	0,019261914	1,00985E-05
Characiforme não identificado	1,51	0,006442463	0
Semente	0,05	3,92514E-07	0
Cladocera	0,01	7,12631E-09	4,87698E-09
Copépoda	0	8,29357E-09	0

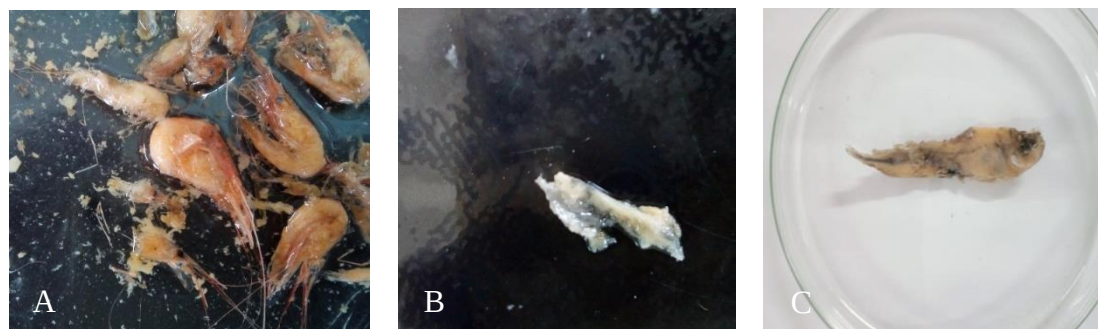


Fig. 3. Itens alimentares de maior contribuição (massa úmida do item) para *Cichla kelberi* nos períodos chuvoso e seco no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil. A. *Macrobrachium* sp. B. Fragmento de peixe. C. *Astyanax* sp.

Varição intraespecífica da composição da dieta

Em relação a variação da dieta entre os indivíduos nos períodos de coleta, os exemplares de *C. kelberi* apresentaram maior variação no período chuvoso (PERMDISP DF = 1; F = 22,669; p = 0,001), corroborando com a maior riqueza de itens consumidos pela espécie nesse

período (Fig. 4, Tab. III). Também, observou-se diferença significativa entre os períodos ($p=0,001$) quanto a amplitude de nicho trófico, reforçando os resultados obtidos em relação à variedade dos itens alimentares (valores do centroide = 0,1848 (chuvoso), 0,0671 (seco)).

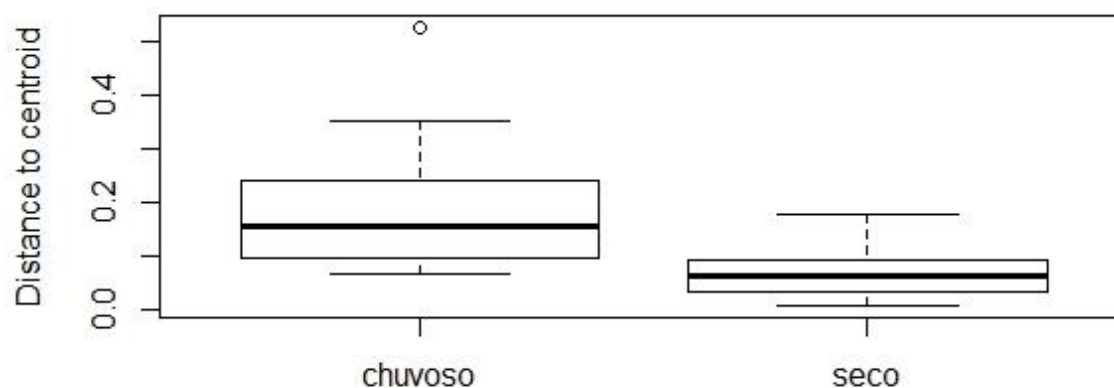


Fig. 4. Variação na amplitude da dieta usando PERMDISP (isto é, a maior distância da mediana indica maior dispersão e, portanto, dieta mais ampla) para *Cichla kelberi* nos períodos chuvoso e seco no reservatório de Jupiá, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil. A barra horizontal representa a mediana da amplitude da dieta.

Perfil de ácidos graxos

Foi observada diferença significativa para o perfil de FAs hepáticos entre os períodos de coleta (PERMANOVA *one-way* – Chuvoso x Seco DF = 1; $F = 2,7239$; $p = 0,016$). Apesar de apresentar dissimilaridade total baixa, de 15,63% (SIMPER), os FAs que mais contribuíram com a diferença apontada pela análise PERMANOVA *one-way*, foram: : C22:6n3 (DHA), (13,68%), C18:1 (10,82%), C24:0 (7,44%), C20:4n6 (ARA) (7,23%) e C16:1 (6,24%), segundo análise SIMPER *overall pool*. Observa-se na Tab. V que o perfil de FAs do tecido hepático foi composto majoritariamente de SFA, seguido de MUFA, PUFA n-3 e n-6, e apresentou uma relação $n-3/n-6 > 1,0$ para ambos períodos de coleta (chuvoso e seco).

Por meio da sumarização dos dados pela análise nMDS (solução em dois eixos; estresse 0,09), verificou-se que indivíduos coletados no período seco estavam mais fortemente associados a C22:6n3 e C20:5n3, enquanto os indivíduos do período chuvoso estavam mais

associados a C16:1 e C18:1, além de ser observada associações de ambos períodos de coleta com C18:2n6 e C18:3n3 (Fig. 6).

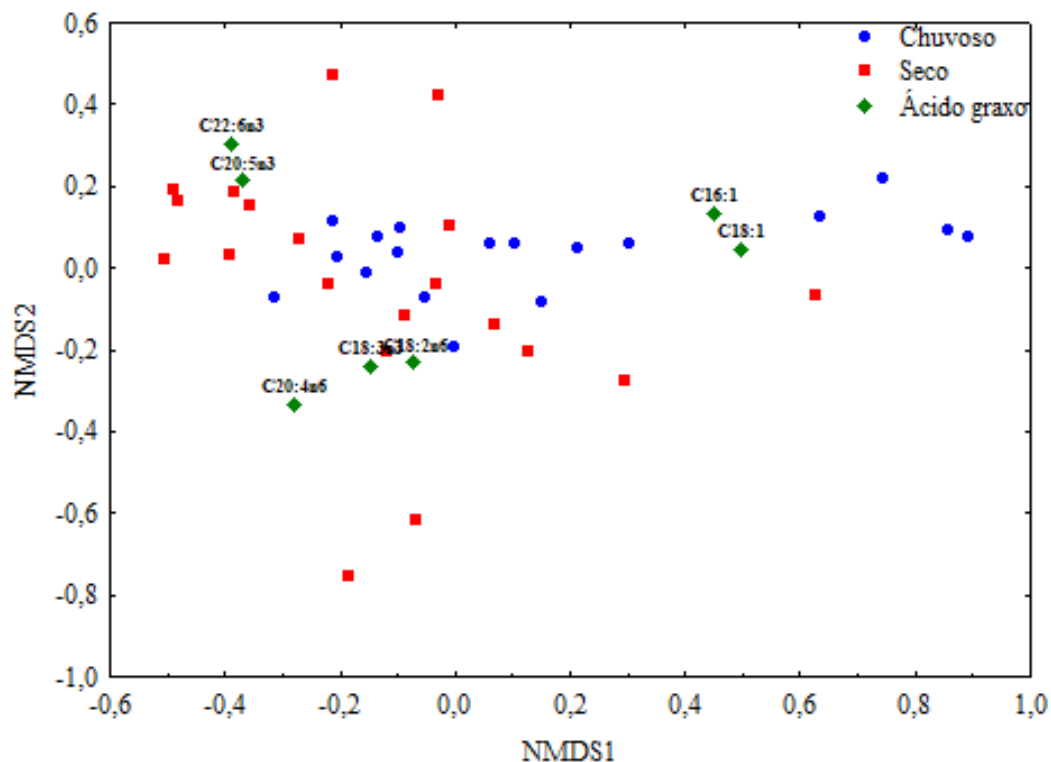


Fig. 6. Representação gráfica dos dois primeiros eixos da escala multidimensional não-métrica (nMDS), demonstrando ácidos graxos encontradas no tecido hepático de *Cichla kelberi* entre os períodos chuvoso e seco no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil.

Tab. V. Composição de ácidos graxos do tecido hepático (média em % $\pm$ erro padrão) de *Cichla kelberi* nos períodos chuvoso e seco no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil.

<i>Tecido hepático</i>		
<i>Ácidos Graxos</i>	<i>Chuvoso</i>	<i>Seco</i>
<i>SFA</i>		
<i>C16:0</i>	28,44 $\pm$ 0,89	25,73 $\pm$ 1,34
<i>C17:0</i>	0,15 $\pm$ 0,02	1,64 $\pm$ 1,25
<i>C18:0</i>	14,07 $\pm$ 0,33	15,32 $\pm$ 1,01
<i>C20:0</i>	0,38 $\pm$ 0,05	0,78 $\pm$ 0,43
<i>C22:0</i>	0,39 $\pm$ 0,04	0,96 $\pm$ 0,38
<i>C24:0</i>	2,74 $\pm$ 0,35	4,42 $\pm$ 0,54
Σ	46,17$\pm$0,76	48,85$\pm$1,88
<i>MUFA</i>		
<i>C16:1</i>	5,47 $\pm$ 0,43	4,03 $\pm$ 0,52
<i>C17:1</i>	1,59 $\pm$ 0,15	2,24 $\pm$ 0,41
<i>C18:1</i>	22,53 $\pm$ 2,07	14,68 $\pm$ 1,15
<i>C20:1</i>	0,46 $\pm$ 0,07	0,35 $\pm$ 0,07
Σ	30,05$\pm$2,34	21,31$\pm$1,48
<i>PUFA n-3</i>		
<i>C18:3n3</i>	1,02 $\pm$ 0,15	1,32 $\pm$ 0,17
<i>C20:3n3</i>	0,33 $\pm$ 0,06	0,55 $\pm$ 0,10
<i>C20:5n3</i>	1,09 $\pm$ 0,16	1,76 $\pm$ 0,23
<i>C22:6n3</i>	10,88 $\pm$ 1,38	14,23 $\pm$ 2,03
Σ	13,32$\pm$1,57	17,86$\pm$2,25
<i>PUFA n-6</i>		
<i>C18:2n6</i>	1,61 $\pm$ 0,16	1,61 $\pm$ 0,16
<i>C20:2n6</i>	0,25 $\pm$ 0,04	0,36 $\pm$ 0,10
<i>C20:3n6</i>	0,32 $\pm$ 0,05	0,39 $\pm$ 0,04
<i>C20:4n6</i>	4,58 $\pm$ 0,49	6,68 $\pm$ 0,92
<i>C22:2n6</i>	1,83 $\pm$ 0,20	1,43 $\pm$ 0,21
<i>C22:5n6</i>	1,86 $\pm$ 0,23	1,51 $\pm$ 0,21
Σ	10,46$\pm$1,00	11,98$\pm$1,00
n-3/n-6	1,27	1,49
PUFA n-3 + n-6	23,78$\pm$2,53	29,84$\pm$2,73

SFA = ácidos graxos saturados; MUFA = ácidos graxos monoinsaturados; PUFA n-3 = ácidos graxos polinsaturados da série n-3; PUFA n-6 = ácidos graxos polinsaturados da série n-6.

DISCUSSÃO

A dieta de *C. kelberi* para os períodos chuvoso e seco apresentou alterações quanto a composição, amplitude de nicho trófico e variabilidade individual, e tais alterações refletiram no perfil de FAs hepático. A diferença encontrada na composição da dieta justifica-se devido ao consumo diferencial (biomassa consumida) de *Macrobrachium* sp. e fragmento de peixes entre os períodos.

A maior variedade de itens alimentares no período chuvoso, que apresentou maior temperatura da água e menor transparência (Tab. I), com maiores valores pluviométricos (Fig. 2) do que o período seco, pode estar relacionada à ocorrência de itens pouco comuns para a dieta de *C. kelberi*., fragmento vegetal e sementes (possivelmente ingeridos acidentalmente), associada ao consumo de *Astyanax* sp., *Cichla* sp., Characiforme não identificado e copépodes, itens que não foram observados no período seco.

A dinâmica da dieta de *C. kelberi* demonstra que a espécie apresenta plasticidade alimentar, mesmo possuindo itens alimentares de origem animal como preferenciais (MENDONÇA *et al.*, 2018). Essa característica contribui com sua aclimação nos reservatórios em que a espécie foi introduzida, já que possibilita o uso de diversos recursos alimentares presentes nesses ambientes (FUGI *et al.*, 2008; VILLARES-JÚNIOR & GOMIERO, 2010; MENDONÇA *et al.*, 2018).

Espécies pertencentes ao gênero *Cichla* são capazes de mudar suas dietas de acordo com a disponibilidade de recursos alimentares, geralmente relacionados às variações sazonais e ontogenéticas (MENDONÇA *et al.*, 2018). Para *Cichla piquiti* Kullander & Ferreira, 2006, por exemplo, flutuações em sua dieta lhe permitiram colonizar espaços como o Pantanal (RESENDE *et al.*, 2009). A maioria dos trabalhos relata ainda que a dieta de tucunarés, por mais que possua diferenças sazonais, permite que ela se mantenha equilibrada no ambiente introduzido (veja a

Tab. VI em material suplementar), certamente contribuindo com seu sucesso de colonização, o que possivelmente também ocorreu no reservatório de Jupia. Essa diferenciação entre os períodos do ano também é observada em outros estudos, os quais avaliaram a influência da sazonalidade na dieta de *C. kelberi*, como no reservatório de Juturnaiba, Rio de Janeiro, Brasil e no Lago Artificial de Leme, São Paulo, Brasil, apresentados na Tab. VI. Geralmente estações mais quentes apresentam maior variedade de itens alimentares em relação às estações frias e secas (GOMIERO *et al.*, 2010).

Observa-se, conforme Tab. VI, que *C. kelberi* tem peixes como seu principal item alimentar em reservatórios. Contudo, nossos resultados possuem maior semelhança aos registrados para *C. monoculus*, introduzida no reservatório de Umari, Ceará, Brasil, onde foi possível também observar alto consumo de *Macrobrachium* sp. e fragmento de peixe como principais itens da dieta nos períodos chuvoso e seco (NETO *et al.*, 2010). Outro aspecto relevante, de acordo com a Tab. VI, está relacionado a *C. kelberi* geralmente apresentar maior variedade de itens alimentares, além de canibalismo, consumo de espécies de peixes nativas, de *Macrobrachium* sp., além de plantas e insetos em áreas de ocorrência não-naturais.

À jusante da usina hidrelétrica de Porto Primavera, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil, a dieta de *C. kelberi* consistiu principalmente de peixes nativos, como *Acestrorhynchus lacustris*, *Hoplias* sp. e *Salminus brasiliensis*, corroborando com a plasticidade alimentar e variação espacial da dieta entre reservatórios (PEREIRA *et al.*, 2014). Enquanto no reservatório de Jupia *C. kelberi* se alimentou majoritariamente de *Macrobrachium* sp. (presente estudo), sendo classificada como carnívora/carcinófaga para ambos os períodos.

Macrobrachium sp. pertence à família Palaemonidae, assim como a espécie modelo deste trabalho foi introduzido no alto rio Paraná (BIALETZKI *et al.*, 1997; MACIEL & VALENTI, 2009), devido ao seu potencial para promover a pesca (isca), foi dispersado pelo Brasil,

invadindo diversos reservatórios (MAGALHÃES *et al.*, 2005). Ainda é utilizado como recurso alimentar por outras espécies de peixes não-nativas, tais como: *Geophagus sveni* Lucinda, Lucena & Assis, 2010, *Metynnis lippincotianus* (Cope, 1870) e *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (KLIEMANN *et al.*, in prep.). O consumo desse item alimentar pode auxiliar no controle populacional do crustáceo, além de influenciar na estrutura das comunidades de peixes, agindo sobre a homogeneização biótica no reservatório (VITULE *et al.*, 2012), já que foi observada menor preferência por espécies nativas na dieta de *C. kelberi* no presente estudo.

A maior parte dos estômagos analisados estavam cheios, possivelmente devido ao processo de digestão do seu principal item alimentar, *Macrobrachium* sp., que apresenta exoesqueleto quitinoso, pouco metabolizado por peixes por ser um polissacarídeo, que requer um processo de digestão mais lento (FILHO, 2003; MACIEL & VALENTI, 2009). Altos índices de estômagos cheios também foram encontrados em outros trabalhos para *C. kelberi* (MENDONÇA *et al.*, 2018), *C. monoculus* (NOVAES *et al.*, 2004) e para *Pachyurus bonariensis* Steindachner, 1879 (FUGI *et al.*, 2008), o que pode ser comum para essas espécies que consomem itens de origem animal.

As diferenças (maior variedade de itens alimentares no período chuvoso) na dieta de *C. kelberi* podem levar à modificação no perfil dos FAs do tecido hepático entre os períodos, uma vez que o que é ingerido contribui para a deposição dos substratos energéticos (lipídeos, proteínas e carboidratos) nos tecidos (BENNEMANN *et al.* 1996; ROTTA, 2003). O fígado é um importante órgão na metabolização de diversas substâncias dispersas no meio ambiente, como xenobióticos, resíduos urbanos (indústrias, residenciais e hospitalares) e, para peixes, tem papel fundamental no recrutamento de substratos energéticos dos tecidos adiposo e muscular para a composição da vitelogenina, substância envolvida no processo de vitelogênese durante o período reprodutivo (BENNEMANN *et al.*, 1996; BUREAU *et al.*, 2002; TOLUSSI *et al.*, 2018).

Os SFA e MUFA são FAs utilizados para o crescimento, natação e também para a reprodução em peixes (KAÇAR *et al.*, 2016). Em nosso estudo foi observado maior porcentagem de MUFA, principalmente C16:1 e C18:1 no período chuvoso (associação que pode ser visualizada na nMDS, Fig. 6), os quais são produzidos endogenamente, resultado da dessaturação no carbono 9 de C16:0 e C18:0 (PARK, 2018), respectivamente, o período chuvoso é caracterizado pela maior atividade reprodutiva de *C. kelberi* no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil (SIQUEIRA-SILVA, 2011). Além disso, é relatado que peixes apresentam altos valores de MUFA, principalmente no tecido gonadal, no início do processo reprodutivo (DANTAGNAN *et al.*, 2007), e que o fígado auxilia na biossíntese de FAs metabolicamente ativos, EPA, DHA e ARA, porém esses são biossintetizados a partir de C18:2n6 e C18:3n3, FAs essenciais, biossintetizados apenas por plantas e algas (HENDERSON & TOCHER, 1987).

Cichla kelberi apresenta, portanto, biomarcadores de FAs de organismos autotróficos, como plantas terrestres verdes e algas verdes (AHIGREN *et al.*, 1996), significando que a espécie depende dos organismos que estão na base da cadeia alimentar para compor seu perfil de FAs hepático, mesmo ocupando um nível trófico superior. Pode-se notar, portanto, o efeito *bottom-up*, já que a espécie se alimentou de algum peixe de elos inferiores da cadeia alimentar, revelando isso em sua transferência energética, que ocorre claramente dentro da estrutura das cadeias tróficas nos reservatórios (AHIGREN *et al.*, 1996; GOMES *et al.*, 2016). A partir de C18:2n6 e C18:3n3, *C. kelberi* pode biossintetizar os FAs metabolicamente ativos, EPA, DHA e ARA, além de obtê-los na dieta, os quais geralmente devem apresentar uma relação $n-3/n-6 > 1,0$ para animais carnívoros, como pode ser observado em outras espécies como: *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (GOMES *et al.*, 2016), *Silurus triostegus* Heckel, 1843 (KAÇAR *et al.*, 2016) e *Rhamdia quelen* (Quoy e Gaimard, 1824) (ANIDO *et al.*, 2015).

O perfil de FAs de peixes é influenciado pela dieta, ciclo reprodutivo, temperatura, estação do ano e localização geográfica (GULER *et al.*, 2011). Da mesma forma como

observamos em nosso estudo, a sazonalidade influenciou a composição de FAs nos tecidos de peixes, como observado para *Cichla* sp. na bacia Amazônica, Brasil (INHAMUNS *et al.*, 2009), em *Rhamdia quelen*, alto rio Uruguai (ANIDO *et al.*, 2015), Brasil, em *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) no reservatório de Altinapa, Turquia (GULER *et al.*, 2011), e em *Silurus triostegus* no reservatório de Ataturk, Turquia (KAÇAR *et al.*, 2016).

Portanto, nossos resultados corroboraram com as hipóteses iniciais, sendo possível inferir que: 1) foram observadas alterações na dieta de *C. kelberi* entre os períodos chuvoso e seco no reservatório de Jupia; e 2) tais alterações, associadas à comparação com outros reservatórios, demonstram que *C. kelberi* apresenta a plasticidade alimentar como uma das possíveis responsáveis pelo seu sucesso de colonização e permanência nos reservatórios onde foi introduzida, além de possivelmente acarretar modificações no perfil de FAs hepáticos de *C. kelberi* entre os períodos chuvoso e seco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), pela infraestrutura e apoio logístico fornecidos pelos Laboratório de Bromatologia, Laboratório de Ecologia de Peixes (PIRÁ) e Laboratório de Estudos em Fisiologia Animal (LEFISA). Agradecemos ao Laboratório de Metabolismo e Reprodução de Organismos Aquáticos, Universidade de São Paulo (USP). Também agradecemos o Prof. Francisco Langeani Neto pela assistência na identificação e tombo dos animais (Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - IBILCE/UNESP). Este estudo foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos números 2018/00281-3, 2018/14124-7 e 2019/18138-5 (bolsa de estudos B.S. e auxílios a divulgação I.P.R., respectivamente) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo número 303311/2018-5 (bolsa de produtividade em pesquisa I.P.R.).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. 2018. **Dados de operação dos reservatórios SIN.** Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin?dropDownListEstados=26&dropDownListReservatorios=19046&dataInicial=01%2F11%2F2017&dataFinal=31%2F08%2F2018&button=Buscar>>. Acesso em: 20.12.2019.
- AHIGREN, G., L. SONESTEN, M. B. & GUSTAFSSON, L. B. 1996. Fatty acid content of some freshwater fish in lakes of different trophic levels - a bottom-up effect? **Ecology of Freshwater Fish** 5(1):15–27.
- AHLBECK, I.; HANSSON, S. & HJERNE, O. 2012. Evaluating fish diet analysis methods by individual-based modelling. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 69:1184-1201.
- ANIDO, R. V.; ZANIBONI-FILHO, A. S. G. E.; BAGGIO, S. R. & FRACALLOSSI, D. M. 2015. Characterization of the ovary fatty acids composition of *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard) (Teleostei: Siluriformes), throughout their reproductive cycle. **Neotropical Ichthyology** 13(2):453–60.
- BENNEMANN, S. T.; ORSI, M. L. & SHIBATTA, O. A. 1996. Atividade alimentar de espécies de peixe do rio Tibagi, relacionada com o desenvolvimento de gordura e das gônadas. **Revista Brasileira de Zoologia** 13(2):501–12.
- BIALETZKI, A., NAKATANI K., BAUMGARTNER G., & BOND-BUCKUP, G. 1997. Occurrence of *Macrobrachium amazonicum* (Heller) (decapoda, palaemonidae) in Leopoldo's Inlet (ressaco do leopoldo), Upper Paraná River, Porto Rico, Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia** 14(2):379–90.
- BUREAU, D.P.; KAUSHIK, S.J. & CHO, C.Y. 2002. Bioenergetics. In: HARDY, R.W. & HALVER, J.E. eds. **Fish Nutrition**. San Diego, Academic Press. p. 1–59.
- CLARKE, K. R. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. **Australian Journal of Ecology** 18:117-143.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO - CESP. 2008. **Monitoramento da produção pesqueira nos reservatórios das UHE's: Engenheiro Sergio Motta (Porto Primavera), Engenheiro Souza Dias (Jupia), Ilha Solteira e Três Irmãos.**
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO - CESP. 2009. **Usina Hidrelétrica Eng Souza Dias (Jupia).** Disponível em: <http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa_UsinaJupia?OpenDocument>. Acesso em: 24.09.2017.
- DANTAGNAN, H.; A. S. BÓRQUEZ, I. N.; VALDEBENITO, I. A.; SALGADO, SERRANO, E. A. & IZQUIERDO, M. S. 2007. Lipid and fatty acid composition during embryo and larval development of puye *Galaxias maculatus* Jenyns, 1842, obtained from estuarine, freshwater and cultured populations. **Journal of Fish Biology** 70:770–81.
- ESPÍNOLA, L. A.; MINTE-VERA, C. V. & JÚLIO-JÚNIOR, H. F. 2010. Invasibility of reservoirs in the Paraná Basin, Brazil, to *Cichla kelberi* Kullander and Ferreira, 2006. **Biological Invasions** 12(6):1873–88.
- FIGUEIREDO, G. G. A. A. 2014. **Variação na estrutura trófica e no uso dos recursos alimentares da ictiofauna de zonas rasas ao longo de um gradiente estuarino-límico.** Dissertação de mestrado. Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande.

- FILHO, J. T. S. 2003. Revisão sobre as enzimas digestivas nos peixes Teleostei e seus métodos de determinação. **Augustus** 8(17):30–45.
- FOLCH, J.; LEES, M. & STANLEY, G. H. S. 1956. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry** 226:497–509.
- FUGI, R.; LUZ-AGOSTINHO, K. D. G & AGOSTINHO, A. A. 2008. Trophic interaction between an introduced (peacock bass) and a native (dogfish) piscivorous fish in a Neotropical impounded river. **Hydrobiologia** 607(1):143–50.
- GARCIA, D. A. Z.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P. & ORSI, M. L. 2018. Diet and feeding ecology of non-native fishes in lentic and lotic freshwater habitats. **Aquatic Invasions** 13(4):565–73.
- GOMES, A. D.; TOLUSSI, C. E.; BOËCHAT, I. G.; POMPÊO, M. L. M.; CORTEZ, M. P. T.; HONJI, R. M. & MOREIRA, R. G. 2016. Fatty acid composition of tropical fish depends on reservoir trophic status and fish feeding habit. **Lipids** 51(10):1193–1206.
- GOMIERO, L. M. & F. M. S. BRAGA. 2004. Feeding of introduced species of *Cichla* (Perciformes, Cichlidae) in Volta Grande reservoir, river Grande (MG/SP). **Brazilian Journal of Biology** 64(4):787–95.
- GOMIERO, L. M.; VILLARES-JÚNIOR, G. A. & NAOUS, F. 2010. Seasonal and ontogenetic variations in the diet of *Cichla kelberi* Kullander and Ferreira, 2006 introduced in an artificial lake in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology** 8(4):819–24.
- GULER, G. O.; AKTUMSEK, A.; ÇAKMAK, Y. S.; ZENG, G. & CİTİL, O. B. 2011. Effect of season on fatty acid composition and n-3/n-6 ratios of Zander and Carp muscle lipids in Altınapa Dam Lake. **Journal of Food Science** 76(4):4–7.
- HENDERSON, R. J. & TOCHER, D. R. 1987. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. **Progress in Lipid Research** 26:281–347.
- HYSLOP, E. J. 1980. Stomach contents analysis: a review of methods and their application. **Journal of Fish Biology** 17(4): 411–429.
- INHAMUNS, A. J.; FRANCO, M. R. B. & BATISTA, W. S. 2009. Seasonal variations in total fatty acid composition of muscles and eye sockets of tucunaré (*Cichla* sp.) from the Brazilian Amazon area. **Food Chemistry** 117(2):272–75.
- IZQUIERDO, M. S.; MONTERO, D.; ROBAINA, L.; CABALLERO, M. J.; ROSENBLUND, G. & GINÉS, R. 2005. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. **Aquaculture** 250(2):431–44.
- KAÇAR, S.; BAŞHAN, M. & OYMAK, S. A. 2016. Effect of seasonal variation on lipid and fatty acid profile in muscle tissue of male and female *Silurus triostegus*. **Journal of Food Science and Technology** 53(7):2913–22.
- KITSON, G.; LARSEN, B. S. & MCEWEN, C. N. 1996. **Gas chromatography and mass spectrometry: a practical guide**. New York, Academic Press. 632p.
- KLIEMANN, B. C. K.; BALDASSO, M. C.; PINI, S. F. R.; MAKRAKIS, M. C.; MAKRAKIS, S. & DELARIVA, R. L. 2019. Assessing the diet and trophic niche breadth of an omnivorous fish (*Glanidium ribeiroi*) in subtropical lotic environments: Intraspecific and ontogenic responses to spatial variations”. **Marine and Freshwater Research** 70(8):1116–28.

- KLIEMANN, B. C. K.; DELARIVA, R. L.; MANOEL, L. O.; SILVA, A. P. S.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R. & RAMOS, I. P. Em prep. Cage fish farm promote interference in the diet and trophic niche of wild fish in Neotropical Reservoir? (submetido ao periódico científico **Aquaculture**).
- KOVALENKO, K. E.; DIBBLE, E. D.; AGOSTINHO, A. A.; CANTANHÊDE, G. & FUGI, R. 2010. Direct and indirect effects of an introduced piscivore, *Cichla kelberi* and their modification by aquatic plants. **Hydrobiologia** 638:245–253.
- KULLANDER, S. & FERREIRA, E. J. G. 2006. A review of the South American cichlid genus *Cichla*, with descriptions of nine new species (Teleostei: Cichlidae). **Ichthyological Exploration of Freshwaters** 17(4):289–398.
- LIMA, F. P.; NOBILE, A. B.; FREITAS-SOUZA, D.; CARVALHO, E. D. & VIDOTTO-MAGNONI, A. P. 2018. Can dams affect the trophic structure of ichthyofauna? A long-term effects in the Neotropical region. **Iheringia. Série Zoologia** 108(0):1–10.
- MACIEL, C. & VALENTI, W. 2009. Biology, fisheries, and aquaculture of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*: a review. **Nauplius** 17(2):61–79.
- MAGALHÃES, C.; BUENO, S. L. S.; BOND-BUCKUP, G.; VALENTI, W. C.; SILVA, H. L. M.; KIYOHARA, F.; MOSSOLIN, E. C. & ROCHA, S. S. 2005. Exotic species of freshwater decapod crustaceans in the state of São Paulo, Brazil: Records and possible causes of their introduction. **Biodiversity and Conservation** 14(8):1929–45.
- MARQUES, H. 2019. **Variações espaço-temporais da ictiofauna de quatro reservatórios do Alto Paraná : uma abordagem de longo termo e aspectos de conectividade fluvial**. Tese de doutorado. Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- MARUYAMA, L. S.; CASTRO, P. M. G.; PAIVA, P.; SILVA, M. E. P. A. & SILVA, K. M. 2010. Produção pesqueira do baixo Rio Tietê, nos anos de 2003-2004: revisão técnico-científica. **Série Relatórios Técnicos, São Paulo**, 45, 1–16.
- MENDONÇA, H. S.; SANTOS, A. C. A.; MARTINS, M. M. & ARAÚJO, F. G. 2018. Size-related and seasonal changes in the diet of the non-native *Cichla kelberi* Kullander & Ferreira, 2006 in a lowland reservoir in the southeastern Brazil. **Biota Neotropica** 18(3): 1-8.
- MÉRONA, B.; SANTOS, G. M. & ALMEIDA, R. G. 2001. Short term effects of Tucuruí Dam (Amazonia, Brazil) on the trophic organization of fish communities. **Environmental Biology of Fishes** 60(4):375–92.
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L. & BAPTISTA, D. F. 2010. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, Technical Books. 174p.
- NETO, C. F.; ALVES, W. S & JÚNIOR, H. N. M. 2010. Dieta do tucunaré *Cichla monoculus* Agassiz, 1831 - açude Thomaz Osterne de Alencar - semiárido cearense. **Cadernos de Cultura e Ciência** 16(1):60–73.
- NEVES, M. P.; SILVA, J. C.; BAUMGARTNER, D.; BAUMGARTNER, G. & DELARIVA, R. L. 2018. Is resource partitioning the key? The role of intra-interspecific variation in coexistence among five small endemic fish species (Characidae) in subtropical rivers. **Journal of Fish Biology** 93(2):238–49.
- NOVAES, J. L. C.; CARAMASCHI, E. P. & WINEMILLER, K. O. 2004. Feeding of *Cichla monoculus* Spix, 1829 (Teleostei: Cichlidae) during and after reservoir formation in the Tocantins River, Central Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia** 16(1):41–49.

- OLIVARES-RUBIO, H. F. & VEGA-LÓPEZ, A. 2016. Fatty acid metabolism in fish species as a biomarker for environmental monitoring. **Environmental Pollution** **218**:297–312.
- OTA, R. R.; DEPRÁ, G. C.; GRAÇA, W. F & PAVANELLI, C. S. 2018. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: Revised, annotated and updated. **Neotropical Ichthyology** **16**(2):1–111.
- PARK, W. J. 2018. The biochemistry and regulation of fatty acid desaturases in animals. polyunsaturated fatty acid metabolism. **Polyunsaturated Fatty Acid Metabolism**. 87-100.
- PARRISH, C. C. 1998. Lipid biogeochemistry of plankton, settling matter and sediments in Trinity Bay, Newfoundland. I. Lipid classes. **Organic Geochemistry** **29**(2):1531–45.
- PELICICE, F. M. & AGOSTINHO, A. A. 2009. Fish fauna destruction after the introduction of a non-native predator (*Cichla kelberi*) in a Neotropical reservoir. **Biological Invasions** **11**(8):1789–1801.
- PEREIRA, L. S.; AGOSTINHO, A. A. & GOMES, L. C. 2014. Eating the competitor: a mechanism of invasion. **Hydrobiologia** **746**(1):223–31.
- RESENDE, E. K.; MARQUES, D. K.S. & FERREIRA, L. K. S. G. 2009. A successful case of biological invasion: the fish *Cichla piquiti*, an Amazonian species introduced into the Pantanal, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** **68**(4):799–805.
- ROTTA, M. A. 2003. **Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura**. Corumbá, Embrapa Pantanal. 48p.
- SANTOS, A. F. G. N.; SANTOS, L. N.; ANDRADE, C. C.; SANTOS, R. N & ARAÚJO, F. G. 2004. Alimentação de duas espécies de peixes carnívoros no reservatório de Lajes, RJ. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida** **24**(1):161–68.
- SANTOS, A. F. G. N.; SANTOS, L. N. & ARAÚJO, F. G. 2011. Digestive tract morphology of the Neotropical piscivorous fish *Cichla kelberi* (Perciformes: Cichlidae) introduced into an oligotrophic Brazilian reservoir. **Revista de Biologia Tropical** **59**(3):1245–55.
- SANTOS, L. N.; GONZALEZ, A. F. & ARAÚJO, F. G. 2001. Dieta do tucunaré-amarelo *Cichla monoculus* (Bloch & Schneider) (Osteichthyes, Cichlidae), no Reservatório de Lajes, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia** **18**(1):191–204.
- SIQUEIRA-SILVA, D. H. 2011. **Ciclo reprodutivo e análise ultraestrutural da espermatogênese de *Cichla kelberi* (Teleostei: Perciformes: Cichlidae)**. Dissertação de mestrado. São José do Rio Preto, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
- TOLUSSI, C. E.; GOMES, A. D.; RIBEIRO, C. S.; CANEPPELE, D.; MOREIRA, R. G. & HONJI, R. M. 2018. Mobilization of energetic substrates in the endangered catfish *Steindachneridion parahybae* (Siluriformes: Pimelodidae): changes in annual reproductive cycle in captivity. **Neotropical Ichthyology** **16**(2):1–8.
- VILLARES-JÚNIOR, G. P. & GOMIERO, L. M. 2010. Feeding dynamics of *Cichla kelberi* Kullander & Ferreira, 2006 introduced into an artificial lake in southeastern Brazil. **Neotropical Ichthyology**, **8**(4):819-824.
- VITULE, J. R. S.; SKÓRA F. & ABILHOA, V. 2012. Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics. **Diversity and Distributions** **18**(2):111–20.
- YOUSAFZAI, A. M. & SHAKOORI, A. R. 2009. Fish white muscle as biomarker for riverine

pollution. **Pakistan Journal of Zoology** 41(3):179–88.

ZARET, T. M. & PAINE, R. T. 1973. Species Introduction in a Tropical Lake: a newly introduced piscivore can produce population changes in a wide range of trophic levels. **Science** 182:449–455.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tab. VI. Revisão bibliográfica a partir de 2006 da composição da dieta de *Cichla kelberi* em outros reservatórios brasileiros, e de *Cichla monoculus* entre os anos de 2000 e 2006.

Local de coleta	<i>Cichla kelberi</i> (Kullander e Ferreira, 2006)	Origem	Sazonalidade	Principais itens alimentares	Referências
Reservatório de Juturnaiba (Rio de Janeiro, Brasil)	sim	Não-nativo	Verão, Inverno e primavera.	Verão: Peixes (juvenis de <i>C. kelberi</i> , <i>Astyanax</i> sp.); Insetos (Odonata, Efemeróptera, Heminóptera); Vegetal. Inverno: Fragmento de peixe; Peixes (<i>Astyanax</i> sp.); Insetos (Odonata); Vegetal. Primavera: Fragmento de peixe; Peixes (<i>Platanichthys platana</i> (Regan, 1917)); Insetos (Odonata).	(MENDONÇA <i>et al.</i> , 2018)
Reservatório de Jurumirim, Alto rio Paranapanema, São Paulo, Brasil	Sim	Não-nativo	Não	Peixes (peixes não identificados, Characiformes, <i>Gymnotus</i> sp. (Valenciennes, 1839)); Insetos.	(LIMA <i>et al.</i> , 2018)
Alto rio Paraná – reservatório abaixo da barragem de Porto Primavera (São Paulo, Brasil)	Sim	Não-nativo	Não	Peixes (<i>Acestrorhynchus lacustris</i> , <i>Hoplias</i> sp., <i>Salminus brasiliensis</i>).	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2014)
Reservatório de Lajes (Rio de Janeiro, Brasil)	Sim	Não-nativo	Não	Peixes (<i>C. kelberi</i> , <i>Tilapia rendalli</i> (Boulenger, 1897), <i>Astyanax</i> sp., <i>Oligosarcus hepsetus</i> (Cuvier, 1829), Curimatidae, <i>Crenicichla lacustris</i> (Castelnau, 1855)); Insetos (Odonata, Hemiptera); Ovos de peixes; Crustáceo (<i>Macrobrachium</i> sp.); Plantas.	(SANTOS <i>et al.</i> , 2011)
Continua					

Continuação

Lago Artificial de Leme (São Paulo, Brasil)	Sim	Não-nativo	Janeiro a dezembro	Meses quentes: Peixes (<i>Tilapia</i> sp., <i>C. kelberi</i> , <i>Geophagus brasiliensis</i> (Quoy, Gaimard, 1824), <i>Hoplosternum littorale</i> (Hancock, 1828)); Insetos. Meses frios: Peixes não identificados.	(VILLARES-JÚNIOR & GOMIERO, 2010)
Reservatório de Corumbá (Goiás, Brasil)	Sim	Não-nativo	Não	Peixes (<i>Galeocharax knerii</i> (Steindachner, 1879), <i>Cichlasoma paranaense</i> Kullander, 1983, <i>Astyanax altiparanae</i> Garutti, Britski, 2000, <i>C. kelberi</i> , <i>Pseudupeneus maculatus</i> (Bloch, 1793)).	(FUGI <i>et al.</i> , 2008)
Reservatório de Volta Grande (São Paulo e Minas Gerais, Brasil)	<i>Cichla monoculus</i>	Não-nativo	Não	Peixes (<i>Cichla</i> sp., <i>Tilapia rendalli</i>), Insetos (Odonata), Crustáceos (<i>Macrobrachium</i> sp.).	(GOMIERO & BRAGA, 2004)
Reservatório de Lajes (Rio de Janeiro, Brasil)	<i>Cichla monoculus</i>	Não-nativo	Não	Peixes (<i>Cichla monoculus</i> , <i>Crenicichla lacustris</i> , <i>Tilapia rendalli</i> , <i>Astyanax</i> sp., <i>Oligosarcus hepsetus</i> , <i>Pimelodella eigenmanni</i> (Boulenger, 1891), <i>Rhamdia parahybae</i> (Steindachner, 1876)); Insetos (Odonata, Hemiptera); Ovos de peixes; Crustáceos (<i>Macrobrachium</i> sp.); Plantas.	(SANTOS <i>et al.</i> , 2004)
Reservatório de Lajes (Rio de Janeiro, Brasil)	<i>Cichla monoculus</i>	Não-nativo	Verão, outono, inverno, primavera	Primavera, Verão e Outono: Peixes (Restos de peixes, Peixes não identificados, <i>Cichla monoculus</i> , <i>Tilapia rendalli</i> , <i>Oligosarcus hepsetus</i> , <i>Pimelodella eigenmanni</i>); Resíduos orgânicos. Inverno – Peixes e Crustáceos.	(SANTOS <i>et al.</i> , 2001)

CAPÍTULO II

COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E
PARASITOLOGIA MUSCULAR DE *Cichla kelberi* (Kullander & Ferreira, 2006) NO
RESERVATÓRIO DE JUPIÁ, ALTO RIO PARANÁ, BRASIL

COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E PARASITOLOGIA MUSCULAR DE *Cichla kelberi* (Kullander & Ferreira, 2006) NO RESERVATÓRIO DE JUPIÁ, ALTO RIO PARANÁ, BRASIL

Bruno da Silva^{1*}, José Daniel Soler Garves¹, Cristiële da Silva Ribeiro², Lidianne Franceschini², Igor Paiva Ramos^{1,2}

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu.

²Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira.

*Correspondência: Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Departamento de Biologia e Zootecnia, Câmpus de Ilha Solteira. Rua Monção, 226, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil. E-mail: bsilva.bio@outlook.com

RESUMO

Este estudo objetivou investigar a seguinte hipótese: há diferença na qualidade química (composição bromatológica e perfil de FAs) e parasitológica do tecido muscular de *C. kelberi*, entre os períodos chuvoso e seco, sendo considerado adequado para o consumo humano. Foi caracterizada a composição bromatológica do tecido muscular, não sendo observada diferença estatística entre períodos de coleta, com composição bromatológica esperada para espécies carnívoras. Foram realizadas extração e metilação de lipídeos do tecido muscular, do conteúdo estomacal e de *Macrobrachium* sp. e realizada análise do perfil de ácidos em cromatografia gasosa. Foram observadas diferenças dos perfis de ácidos graxos do tecido muscular e conteúdo muscular entre períodos de coleta, com contribuição de C22:6n3 (DHA, ácido docosahexaenoico), C20:5n3 (EPA, ácido eicosapentaenoico) e C20:4n6 (ARA, ácido araquidônico), com a participação de ácidos graxos de origem vegetal, como, C18:3n3. A inspeção realizada por meio de mesa transparente com luz para visualização de cistos parasitários não retornou larvas encistadas no tecido muscular, concluindo que a espécie apresenta qualidade química e é segura para o consumo humano do ponto de vista parasitológico no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil.

Palavras-chave: Tecido muscular, Transferência trófica, Ácidos graxos, Tucunaré amarelo, Influência sazonal.

INTRODUÇÃO

Cichla kelberi Kullander & Ferreira, 2006, popularmente conhecido como tucunaré amarelo, pertencente à família Cichlidae, possui ocorrência natural na bacia do rio Amazonas e Tocantins-Araguaia (Kullander & Ferreira, 2006). Contudo, apresenta distribuição mais ampla, podendo ser encontrada em inúmeras bacias hidrográficas do Brasil, devido à introdução proposital em reservatórios de usinas hidrelétricas, em especial, na região Sudeste (Catelani, Bauer, Di Dario, Pelicice, & Petry, 2017). Dentre tais áreas de ocorrência não natural, destaca-se a bacia do alto rio Paraná, na qual *C. kelberi* é amplamente distribuída e abundante, sendo registrada nos reservatórios de Três Irmãos, Ilha Solteira, Jupia e Porto Primavera (Marques, 2019; Ota, Deprá, Graça, & Pavanelli, 2018).

Quanto ao hábito alimentar, a espécie é classificada como carnívora/piscívora, com relatos de canibalismo, consumo de insetos, crustáceos e zooplâncton (Mendonça, Santos, Martins, & Araújo, 2018) ou carcinófaga, como no reservatório de Jupia (Silva, 2020). Sua reprodução acontece principalmente no período chuvoso, porém, desovas esporádicas podem ocorrer no período seco (Siqueira-Silva, 2011). Ainda, *C. kelberi* apresenta relevante importância econômica, tendo em vista seu potencial para pesca esportiva, e como fonte de renda para pescadores artesanais, considerando-se seu comércio (filés e peixe inteiro) (CESP, 2008; Maruyama, Castro, Paiva, Silva, & Silva, 2010). Zootecnicamente, apresenta alto rendimento de carcaça, além de boas características organolépticas, sabor, odor, textura e cor (Honorato, Smerman, Angélici, & Bem, 2014).

Peixes são uma das principais fontes de proteína animal do mundo (FAO & OPAS, 2017), apresentando alto valor nutricional, sendo um alimento bastante saudável e recomendado nutricionalmente. Seu alto valor nutricional é atribuído ao equilíbrio das concentrações de umidade, proteínas brutas, cinzas e extrato etéreo (Menezes et al., 2008). Como também, por apresentarem altas proporções de ácidos graxos (FAs) polinsaturados da

série n-3 (PUFA n-3), principalmente os ácidos graxos eicosapentaenoico (EPA, C20:5n3) e docosaexaenoico (DHA, C22:6n3), importantes para a saúde humana. Esses FAs, são associados à prevenção de doenças cardiovasculares, distúrbios autoimunes, inflamação, hipertensão, alergias, artrite e cânceres (Inhamuns, Franco, & Batista, 2009; Rodrigues et al., 2017).

Nos últimos anos o consumo de peixe aumentou no Brasil, relacionado principalmente à preocupação com a saúde associada à inclusão de PUFA n-3 na dieta humana, levando a um aumento na produção aquícola, registrando em 2018 uma produção estimada de 519,3 mil toneladas de pescado produzidos por pisciculturas (IBGE, 2018). Contudo, para se ter uma adequada produção dos estágios iniciais até o abate dos animais adultos, uma alimentação balanceada e de qualidade é preponderante, uma vez que a constituição da ração oferecida aos animais deve conter teores adequados de proteínas e lipídeos, a fim de produzir carne de boa qualidade (Boscolo, Hayashi, Feiden, Meurer, & Signor, 2008; Ozogul, Ozogul, & Alagoz, 2007).

Para pescados silvestres (não produzidos por sistemas aquícolas), que consomem recursos no ambiente natural, como *C. kelberi* no reservatório de Jupia, é necessário considerar os fatores sazonais. Dentre tais fatores, podemos destacar: temperatura e regime das chuvas que podem influenciar na disponibilidade, quantidade e qualidade de itens alimentares consumidos (Mendonça et al., 2018; Novakowski, Hahn, & Fugi, 2008). Consequentemente, podem influenciar a qualidade do pescado, pois o alimento ingerido será assimilado metabolicamente e fará parte da constituição química do animal (Bennemann, Orsi, & Shibatta, 1996; Rotta, 2003).

Para o melhor aproveitamento desse pescado no reservatório de Jupia, se faz necessário avaliar os aspectos dietéticos e fisiológicos, que influenciam a qualidade nutricional de espécies com relevância econômica. Ainda se torna pertinente fornecer informações sobre aspectos

biólogicos e zootécnicos que possibilitem avaliar as possíveis alterações sobre tais aspectos em função da área de ocorrência avaliada.

Outro aspecto relevante relacionado ao consumo de pescado são as avaliações nutricionais e sanitárias que asseguram a qualidade desse tipo de alimento (Belik, 2003). Essas avaliações são necessárias, pois peixes silvestres normalmente não apresentam estudos sobre composição química de tecido muscular, e não possuem fiscalização sanitária (FAO & OPAS, 2017; Kent, 1997). O consumo de alimentos contaminados, seja por patógenos microbiológicos ou parasitos, podem levar à contaminação/infecção por diversas doenças, como: infecção pela toxina botulínica, difilobotríase, fagicolose e anisakiase (Franceschini et al., 2013; Santos, 2010).

A preocupação sobre a qualidade dos alimentos consumidos no Brasil pelos órgãos governamentais tem aumentado, principalmente após a Lei nº11.346, de setembro de 2006, que versa sobre a qualidade nutricional e a importância da inspeção alimentar em empreendimentos públicos e privados (Brasil, 2006). No entanto, não há padrões claros estabelecidos para todos os parâmetros de qualidade de alimentos de origem animal, como para filés de peixes. A Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) nos auxilia em parâmetros nutricionais acerca da composição bromatológica do tecido muscular de peixes, dentre eles, tucunarés (NEPA, 2011).

Dessa maneira, o presente estudo buscou investigar a hipótese de que há diferença na qualidade química (composição bromatológica e perfil de FAs) e parasitológica do tecido muscular de *C. kelberi*, entre os períodos chuvoso e seco, sendo considerado adequado para o consumo humano. Para isso, testou-se as seguintes previsões: 1) há diferenças na composição bromatológica do tecido muscular e do conteúdo estomacal de exemplares de *C. kelberi* entre os períodos chuvoso e seco, no reservatório de Jupia; 2) o tecido muscular e o conteúdo estomacal da espécie apresentam perfis de FAs que diferem com a influência da sazonalidade;

e 3) o tecido muscular de *C. kelberi* não apresenta cistos parasitários, sendo seguro para consumo humano.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local de coleta

As coletas dos exemplares de *C. kelberi* foram realizadas no reservatório da Usina Hidrelétrica Engenheiro Souza Dias, Jupiá. O reservatório está localizado na bacia hidrográfica do alto rio Paraná entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, Brasil (20°28'25,1" S; 51°25'57,8" W) (Figura 1). Foi formado em 1969, a partir da construção de uma barragem de 5.495 m de comprimento e possui uma área de reservatório de 330 km², com perímetro de 482 km, profundidade média de 6,8 m, volume de 3.680x10⁶ m³, vazão média de longo termo de 6.158 m³.s⁻¹ e tempo médio de residência da água de 6,9 dias (CESP, 2009).

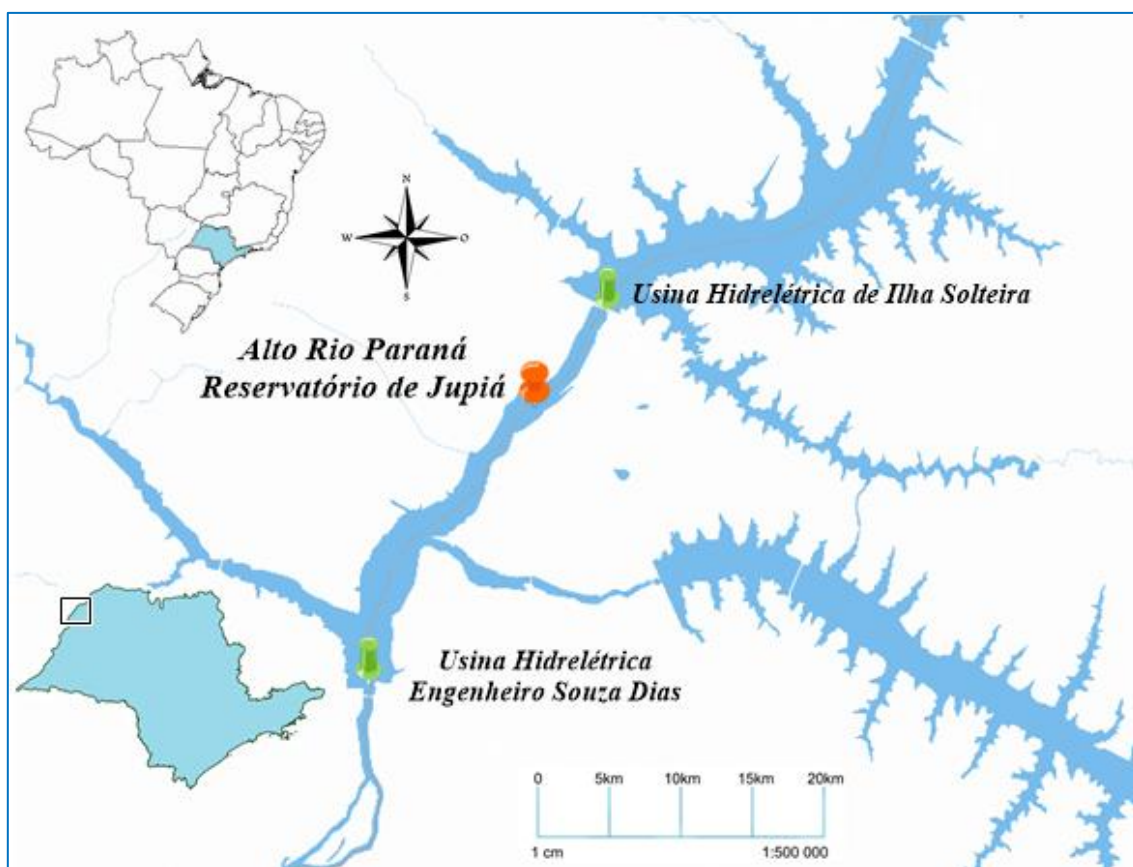


Figura 1 Mapa do Brasil (superior) e estado de São Paulo (inferior), com a localização do reservatório de Jupiá (esquerda), alto rio Paraná. Marcador vermelho: local de amostragem.

Coleta de Dados

Foram realizadas duas coletas, uma ao final do período chuvoso (março de 2018 pluviosidade média de 136,53±51,48 mm), e outra ao final do período seco (agosto de 2018

pluviosidade média de $4,83 \pm 3,82$ mm) (dados obtidos de <<http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/diversos-ahi.php>>, acesso em 24.09.2019, Laboratório de Hidráulica e Irrigação, UNESP, Ilha Solteira, SP), no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, com a utilização de vara com carretilha e iscas artificiais. Ainda, observou-se vazão média do reservatório de $3.723,58 \pm 61,42$ m³/s no período chuvoso e de $3.713 \pm 50,65$ m³/s no período seco, conforme relatórios diários (período de 01/01/2018 a 30/03/2018 corresponde ao período chuvoso e 01/06/2018 a 31/08/2018 ao período seco) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018).

Concomitante às coletas foram mensuradas as variáveis limnológicas (temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, potencial de redução, sólidos totais dissolvidos, saturação de oxigênio e a transparência, utilizando sonda Horiba U-53 e disco de Secchi). Todos os dados mensurados quanto à qualidade da água do reservatório de Jupia nos dois períodos de coleta são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Valores de variáveis limnológicas analisadas no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil.

Coordenadas do ponto de coleta: -20.509271, -51.455462		
	Chuvoso	Seco
Temperatura (°C)	27,9	21,97
Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,36	8,15
pH	6,36	5,89
Condutividade elétrica (S/cm)	0,054	0,063
Potencial de redução (Mv)	198	180
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	0,035	0,041
Transparência (m)	3,23	6,3
Saturação de oxigênio (%)	81,9	95,3
Medição: 1 m	Horário de medição: 9h34min	Horário de medição: 9h59min

Dados biométricos

Foram capturados 30 espécimes adultos por coleta (Autorização SISBio nº 61669-1 e SisGen nº ADBAC93), os quais foram imediatamente dessensibilizados com o uso de gelo e posteriormente eutanasiados por secção da medula espinhal na altura do opérculo

(CEUA/FEIS- 05/2018). Posteriormente, foram mensurados a massa total com o uso de balança (0,01g), comprimento padrão com o uso de ictiômetro (0,01g) e o sexo determinado visualmente. Não foram observadas diferenças entre machos e fêmeas quanto a comprimento padrão e massa total (teste *t* de Student - SigmaStat®, versão 4.1). Também não foram observadas diferenças entre sexo para composição bromatológica e o perfil de ácidos graxos do tecido muscular para os períodos de coleta (teste PERMANOVA *two-way*, sexo (macho x fêmea) x período de coleta (chuvoso x seco), baseado na distância mensurada, nesse caso a distância de Bray-Curtis, através do software Primer 6, versão 6.1.13 e Permanova+, versão 1.0.3, consulte <https://www.primer-e.com/our-software/permanova-add-on/>, acessado em 18 de fevereiro de 2020 (Tabela 2). Desta forma, todos os exemplares de cada coleta foram agrupados independentemente do sexo.

Tabela 2 Comparação entre comprimento padrão, massa total, dieta e ácidos graxos de machos e fêmeas nos períodos chuvoso e seco.

	Período Chuvoso		Período Seco	
Biometria/Análises biológicas	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea
Massa Total	n = 12	n = 18	n = 14	n = 16
	Teste <i>t</i> -1,317 p= 0,198		Teste <i>U</i> 254,00 p=0,129	
Comprimento Padrão	n = 12	n = 18	n = 14	n = 16
	Teste <i>t</i> -2,009 p=0,054		Teste <i>t</i> -1,456 p=0,157	
Composição Bromatológica (tecido muscular)	n = 10	n = 12	n = 12	n = 11
	Permanova <i>two-way</i> DF = 1; F = 0,53001; p = 0,582			
Ácidos Graxos (tecido muscular)	n = 7	n = 13	n = 12	n = 9
	Permanova <i>two-way</i> DF = 1; F = 0,56508; p = 0,744			

*n = número de indivíduos aferidos na biometria e utilizados nas análises biológicas deste trabalho.

Análise da composição bromatológica

Todos os exemplares coletados foram congelados e destinados aos Laboratório de Ecologia de Peixes (PIRÁ) e de Estudos em Fisiologia Animal (LEFISA), do Departamento de Biologia e Zootecnia (DBZ) da Universidade Estadual Paulista (UNESP/FEIS), Câmpus de Ilha Solteira, SP, onde foram mantidos congelados até o momento das análises laboratoriais. O

tecido muscular foi retirado da massa muscular de cada lado da coluna vertebral, do bordo posterior do opérculo à inserção caudal, seguindo para caracterização da composição bromatológica.

A caracterização da composição bromatológica (proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), teor de cinzas (CZ), umidade (UD) e massa seca (MS)) do tecido muscular e do conteúdo estomacal foram realizadas com o apoio do Laboratório de Bromatologia da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). As determinações supramencionadas seguiram os seguintes métodos: umidade, pelo método de secagem em estufa a 105 °C até massa constante; proteínas brutas, pelo método micro-Kjeldahl (AOAC, 1984); extrato etéreo, pelo método de Soxhlet, usando-se hexano como solvente extrator; e cinzas, pelo método de incineração em mufla a 550 °C até massa constante, conforme descrito por (Lima, Mujica, & Lima, 2012).

Para cada análise houve cálculo específico levando em consideração a diferença de massa úmida (g) e seca (g) do tecido muscular e do conteúdo estomacal. O teor de UD foi obtido a partir de diferença entre massa (g) do tecido muscular úmido e seco após estufa a 105 °C. A concentração de PB foi expressa por meio da concentração de nitrogênio livre determinada em processo de titulação, convertido em porcentagem. A concentração de CZ e EE também seguiram os mesmos princípios. Todos os valores da composição bromatológica foram expressos em porcentagem (%).

Para testar possíveis diferenças da composição bromatológica dos exemplares de *C. kelberi* entre os períodos chuvoso e seco, utilizou-se a análise PERMANOVA *one-way*. Este teste não paramétrico avalia diferenças significativas entre grupos, baseado na distância mensurada, nesse caso a distância de Bray-Curtis. Posteriormente, em caso de serem observadas diferenças, a fim de verificar quais os atributos bromatológicos foram responsáveis e sua contribuição para as diferenças, foi aplicado o método de Porcentagem de Similaridade

(SIMPER *overall pool*) (Primer 6, versão 6.1.13 e Permanova+, versão 1.0.3, consulte <https://www.primer-e.com/our-software/permanova-add-on/>, acessado em 18 de novembro de 2019) (Clarke, 1993).

Análise de Ácidos graxos (FAs)

Frações do tecido muscular de 20 exemplares (período chuvoso) e 21 exemplares (período seco) e do conteúdo estomacal (5 exemplares para cada período de coleta) e do principal item alimentar *Macrobrachium* sp. de *C. kelberi* (Silva, 2020) foram coletados e armazenados em criotubos ainda em campo e reservados em nitrogênio líquido. Posteriormente, em laboratório, as amostras foram acondicionadas em freezer -80 °C para as análises de FAs.

A coleta do crustáceo *Macrobrachium* sp. Bate, 1888 foi realizada utilizando peneira aro 55 cm, com malhagem de 2 mm, no reservatório de Ilha Solteira, SP, Brasil, em novembro de 2020, utilizando todo o animal para realização do seu perfil de FAs.

Os lipídios totais teciduais foram extraídos com uma mistura de clorofórmio: metanol: água (2:1:0,5) (Folch, Lees, & Stanley, 1956) adaptada por Parrish, (1998). A partir da metilação das amostras (para formação dos metis ésteres) pelo método de Kitson, Larsen, & MCewen (1996), que utiliza o cloreto de acetila e metanol como catalisadores da reação, os FAs foram analisados em cromatografia gasosa (GC), acoplada a um ionizador de chama (FID) (VARIAN GC 3900). O perfil de FAs foi determinado com o cálculo de tempo de retenção, utilizando-se um padrão de FAs com tempo de retenção conhecido (Supelco, 37 components). Para a análise dos FAs foi utilizada uma programação no cromatógrafo com as características descritas a seguir: a leitura foi iniciada a uma temperatura de 170 °C mantida por 1 minuto e em seguida por uma rampa de 2.5 °C/minuto, até atingir a temperatura final de 220 °C, que foi mantida por cinco minutos. O injetor e o detector foram mantidos a 250 °C. Foi utilizada uma coluna CP wax 52 CB, com espessura de 0,25 mm, diâmetro interno de 0,25 µm e 30 m de

comprimento, tendo o hidrogênio como o gás de arraste. O procedimento foi realizado no Laboratório de Metabolismo e Reprodução de Organismos Aquáticos, da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil.

Para testar possíveis diferenças nos perfis de FAs dos exemplares de *C. kelberi* entre os períodos chuvoso e seco, utilizou-se a análise PERMANOVA *one-way*, utilizando-se a distância de Bray-Curtis. Posteriormente, em caso de serem observadas diferenças, a fim de verificar quais FAs foram responsáveis e sua contribuição para as diferenças, foi aplicado o método de Porcentagem de Similaridade (SIMPER *overall pool*) (Primer 6, versão 6.1.13 e Permanova+, versão 1.0.3, consulte <https://www.primer-e.com/our-software/permanova-addon/>, acessado em 18 de novembro de 2019) (Clarke, 1993).

Uma análise de escala multidimensional não métrica (nMDS) foi realizada para sumarizar os dados de FAs para ambos períodos (chuvoso e seco) e FAs metabolicamente importantes de acordo com a SIMPER *overall pool*, como DHA, EPA, ARA, C18:2n6, C18:3n3, C16:1 e C18:1. Para tanto, os valores do índice de dissimilaridade de Bray-Curtis foram calculados com base em uma matriz de dados transformados em raízes quadradas para os percentuais totais de cada classe de FAs. Foi obtido um índice de confiança (estresse) da proximidade da representação gráfica nos resultados do nMDS com os dados reais. Os valores de tensão menores que 0,20 indicam que a nMDS bidimensional (2-D) pode ser utilizada para representar os dados (Kliemann et al., 2019). Para isso foi utilizada a função *metaMDS*, e o pacote *Vegan* (J.O. ksanen, F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, E. Szoecs e H. Wagner, retirado de <https://cran.r-project.org>; <https://github.com/vegandevs/vegan>, acessado em 18 de novembro de 2019) para compor os scripts no ambiente do software RStudio® (ver. 3.2.3, R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria).

Análise parasitológica

Todos os exemplares coletados foram congelados e destinados ao Laboratório de Ecologia de Peixes (PIRÁ), do Departamento de Biologia e Zootecnia (DBZ) da Universidade Estadual Paulista (UNESP/FEIS), Câmpus de Ilha Solteira, SP, onde foram mantidos congelados até o momento das análises laboratoriais. O tecido muscular foi retirado da massa muscular de cada lado da coluna vertebral, do bordo posterior do opérculo à inserção caudal, como descrito por (Oliveira, 2005). Posteriormente, todo o tecido muscular obtido (entre 10 a 15 mm de espessura) foi transferido para uma mesa de inspeção do tipo *candling table* (constituída de um tampo de vidro fosco e de uma luz branca na parte inferior), que por transparência permitiu a análise para verificação da presença de cistos de parasitos.

O nível de significância estatística adotado para todas as análises estatísticas realizadas foi de 0,05. Exemplares testemunhos da espécie serão depositados na coleção ictiológica da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" de São José do Rio Preto, SP, Brasil.

RESULTADOS

Análise bromatológica

Tecido muscular

Não foram observadas diferenças significativas para composição bromatológica entre os períodos chuvoso e seco (PERMANOVA *one-way* – Chuvosa x Seca DF = 1; F = 1,7739; p = 0,169) (Figura 2).

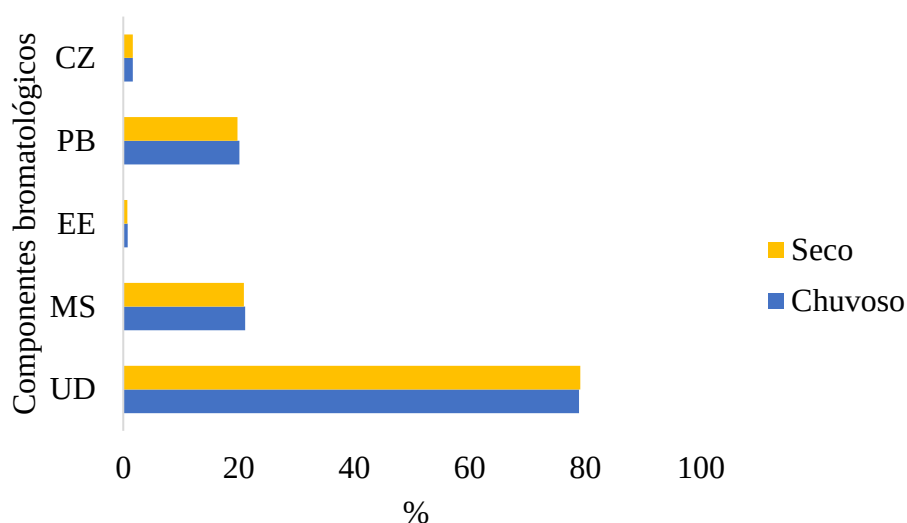


Figura 2 Composição bromatológica do tecido muscular de *Cichla kelberi* em porcentagem nos períodos chuvoso e seco do reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil. CZ = Cinzas; PB = Proteínas Brutas; EE = Extrato Etéreo; MS = Matéria Seca; UD = Umidade.

Conteúdo estomacal

Não foram observadas diferenças significativas para composição bromatológica entre os períodos chuvoso e seco (PERMANOVA *one-way* – Chuvosa x Seca DF = 1; F = 2,9642; p = 0,09) (Figura 3).

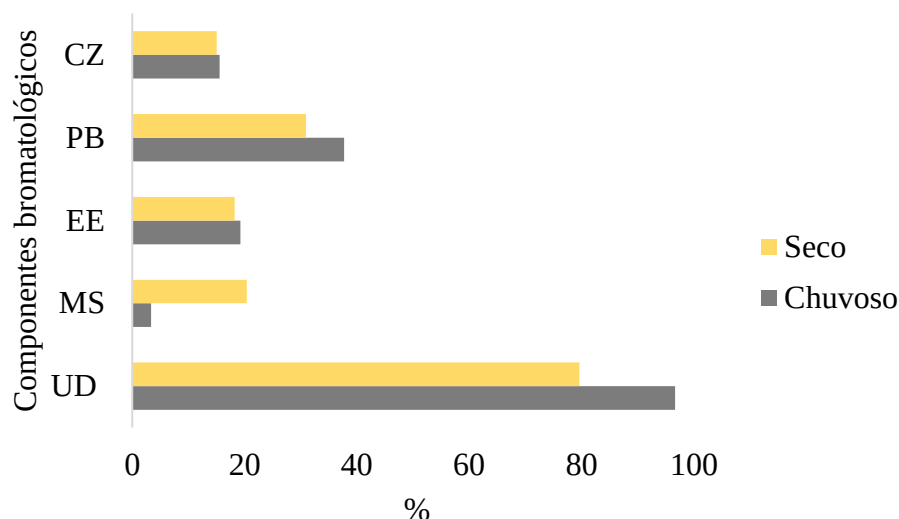


Figura 3 Composição bromatológica do conteúdo estomacal de *Cichla kelberi* em porcentagem nos períodos chuvoso e seco do reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil. CZ = Cinzas; PB = Proteínas Brutas; EE = Extrato Etéreo; MS = Matéria Seca; UD = Umidade.

Perfil de ácidos graxos (FAs)

Tecido muscular

Foi observada diferença significativa para o perfil de FAs do tecido muscular entre os períodos de coleta (PERMANOVA *one-way* – Chuvoso x Seco DF = 1; F = 3,4043; p = 0,017). Apesar de apresentar dissimilaridade total baixa, de 7,56%, os FAs que mais contribuíram com a diferença apontada pela análise PERMANOVA *one-way*, foram: C22:6n3 (DHA) (7,99%), C18:1 (6,51%), C20:5n3 (EPA) (5,71%), C18:3n3 (5,63%) e C16:1 (5,38%), segundo análise SIMPER *overall pool* (Tabela 3). É possível observar que a composição de FAs deste tecido contou majoritariamente com SFA, seguido de MUFA, PUFA n-3 e n-6, e apresentou uma relação $n-3/n-6 > 1,0$ para o período chuvoso e $< 1,0$ para o seco (Tabela 3).

Quando os dados foram sumarizados por meio da análise nMDS (solução em dois eixos; estresse 0,13), verificou-se que os indivíduos coletados em ambos períodos estão dispersos aleatoriamente entre os FAs, não apresentando uma tendência de distribuição (Figura 4).

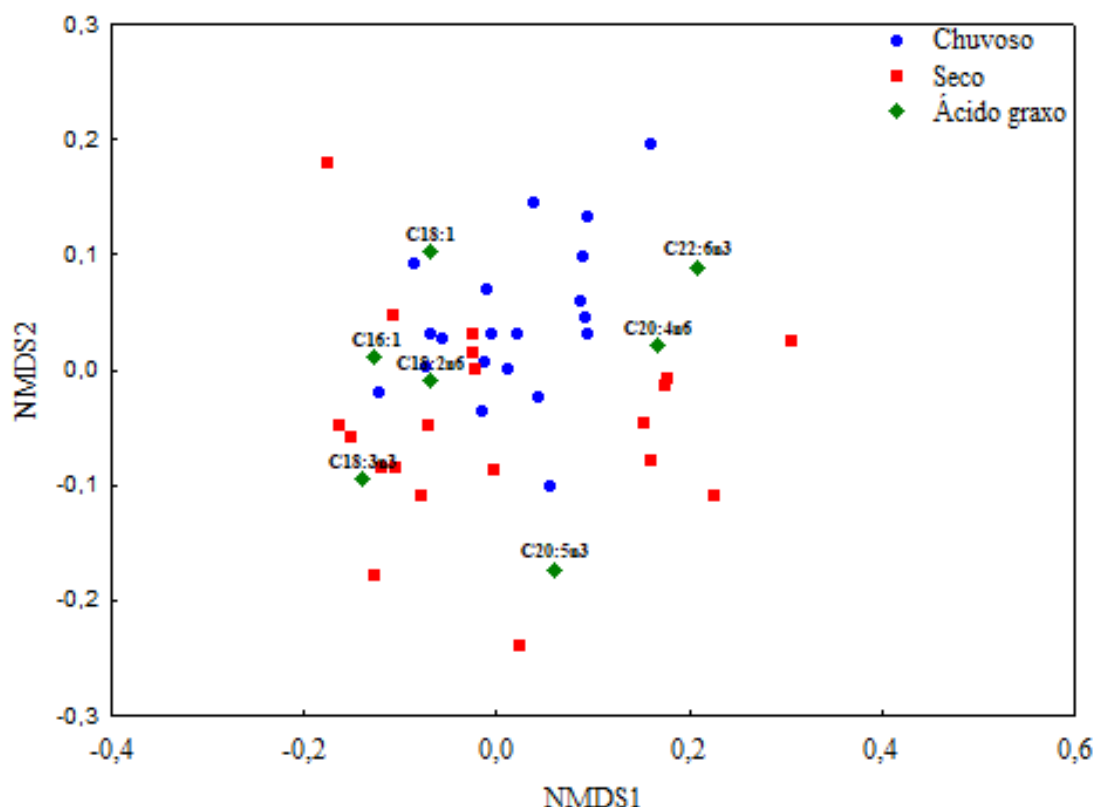


Figura 4 Representação gráfica dos dois primeiros eixos da escala multidimensional não-métrica (nMDS), demonstrando os ácidos graxos encontradas no tecido muscular de *Cichla kelberi* entre os períodos chuvoso e seco no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil.

Conteúdo Estomacal

Foi observada diferença significativa no perfil de FAs do tecido muscular entre os períodos de coleta (PERMANOVA *one-way* – Chuvoso x Seco DF = 1; F = 8,0764; p = 0,004). Apesar de apresentar dissimilaridade total baixa, de 27,50%, os FAs que mais contribuíram com a diferença apontada pela análise PERMANOVA *one-way*, foram: C20:5n3 (EPA) (14,97%), C22:6n3 (DHA) (13,89%), C20:3n3 (11,17%), C20:4n6 (ARA) (9,20%) e C24:0 (5,72%), segundo análise SIMPER *overall pool* (Tabela 3). É possível observar que a composição de FAs do conteúdo estomacal contou majoritariamente com SFA, seguido de MUFA, PUFA n-3 e n-6 (Figura 6), e apresentou uma relação $n-3/n-6 > 1,0$ para os dois períodos de coleta (Tabela 3).

A composição de FAs de *Macrobrachium* sp., item alimentar mais abundante na dieta analisada de *C. kelberi* (Silva, 2020), apresentou maiores valores de SFA, seguido de MUFA, PUFA n-3 (C18:3n3 e AEP) e PUFA n-6 (C18:2n6 e C20:4n6) (Figura 5 e Tabela 3).

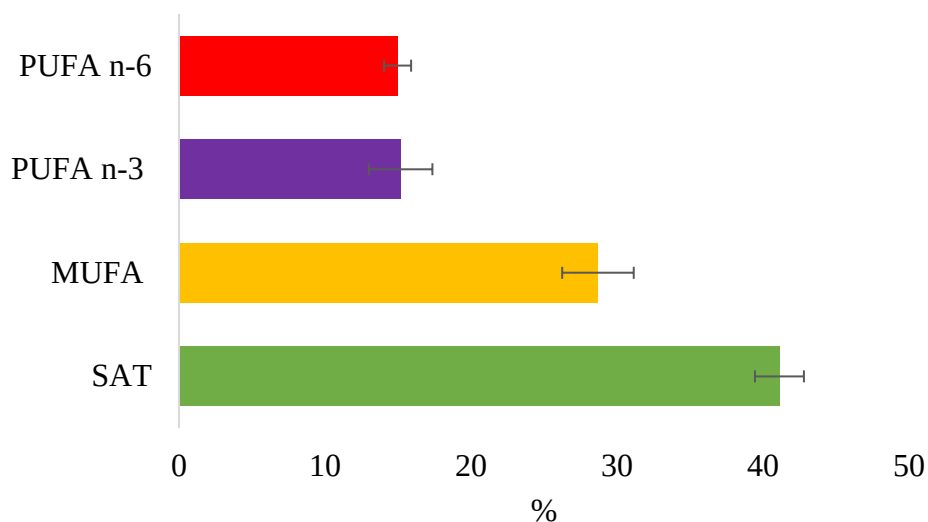


Figura 5 Composição de ácidos graxos de *Macrobrachium* sp., item alimentar mais abundante na dieta analisada dos exemplares de *Cichla kelberi*, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil.

Análise Parasitológica

Não foram encontradas larvas encistadas no tecido muscular de *C. kelberi* em nenhum dos períodos de coleta.

Tabela 3 Composição de ácidos graxos do tecido muscular, conteúdo estomacal e *Macrobrachium* sp. (média em % e erro padrão) de *Cichla kelberi* coletados em período chuvoso e seco no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, São Paulo, Brasil.

	Tecido muscular		Conteúdo Estomacal		Macrobrachium sp.
FAs	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	
Saturados (SFA)					
C14:0	-	-	2,33±0,48	1,90±0,11	-
C15:0	2,36±0,09	2,50±0,17	0,41±0,15	0,42±0,04	0,47+0,11
C16:0	27,88±0,32	26,78±0,38	25,55±1,39	24,32±1,42	24,47+1,74
C17:0	0,63±0,07	0,51±0,07	1,46±0,45	1,00±0,05	2,36+0,27
C18:0	10,73±0,14	12,29±0,48	13,78±1,25	13,61±1,84	11,96+0,63
C20:0	0,41±0,04	0,54±0,08	0,55±0,21	0,48±0,05	0,51+0,08
C21:0	-	-	-	-	0,24+0,05
C22:0	0,40±0,04	0,56±0,09	0,63±0,16	0,72±0,20	-
C24:0	4,00±0,17	3,76±0,25	1,57±0,92	-	1,12+0,27
Σ	46,41±0,33	46,95±0,50	46,26±2,31	42,44±2,69	41,14±1,68
Monoinsaturados (MUFA)					
C14:1	-	-	-	0,09±0,06	-
C15:1	-	-	-	0,14±0,09	1,19+0,16
C16:1	7,83±0,16	8,73±0,41	7,36±1,56	6,65±1,77	6,01+0,53
C17:1	1,54±0,10	1,71±0,13	0,70±0,38	0,69±0,22	-
C18:1	21,93±0,50	19,83±0,61	15,53±1,02	16,56±1,68	19,76+1,88
C20:1	0,63±0,07	0,58±0,09	-	-	1,14+0,32
C24:1	-	-	-	0,76±0,13	0,61+0,06
Σ	31,93±0,47	34,05±2,36	23,59±2,21	24,89±1,72	28,70±2,45
Polinsaturados série n-3 (PUFA n-3)					
C18:3n3	2,79±0,17	3,10±0,24	2,62±1,03	1,78±0,35	3,01+0,34
C18:4n3	-	-	0,16±0,10	0,30±0,13	-
C20:3n3	0,64±0,06	0,85±0,15	0,32±0,09	6,89±2,36	-
C20:5n3	2,50±0,13	3,09±0,25	7,52±2,24	10,64±4,52	8,77+1,50
C22:6n3	5,86±0,25	4,55±0,35	6,79±2,96	7,58±1,64	3,40+0,77
Σ	11,79±0,31	17,78±4,29	17,41±3,25	27,19±2,70	15,18±2,18
Polinsaturados série n-6 (PUFA n-6)					
C18:2n6	2,73±0,10	2,89±0,10	3,59±0,54	2,51±0,49	4,96+0,55
C18:3n6	-	-	0,49±0,21	0,32±0,11	-
C20:2n6	0,28±0,03	0,55±0,17	0,28±0,11	0,22±0,08	1,30+0,74
C20:3n6	0,36±0,03	0,54±0,10	0,23±0,11	-	-
C20:4n6	3,79±0,14	4,30±0,30	7,36±0,63	-	7,98+1,01
C22:2n6	1,30±0,10	1,24±0,11	0,11±0,11	2,13±1,70	-
C22:5n6	1,39±0,07	1,11±0,10	0,60±0,46	0,24±0,08	0,74+0,14
Σ	9,87±0,27	18,14±5,23	12,65±0,78	5,40±2,02	14,98±0,93
n-3/n-6	1,20	0,98	1,40	5,03	1,01
Σ PUFA	21,65±0,49	22,47±0,75	30,06±3,25	32,60±3,37	30,16±3,01

DISCUSSÃO

A diferença encontrada na dieta de *C. kelberi* entre os períodos de seco e chuvoso (Silva, 2020) que se referem aos animais deste estudo, não foi suficiente para alterar a composição bromatológica do tecido muscular e do conteúdo estomacal entre os períodos chuvoso e seco. No entanto, os perfis de FAs se alteraram, tanto no tecido muscular, quanto no conteúdo estomacal, revelando que as alterações na dieta refletiram no perfil dos FAs entre os períodos de coleta. Ainda, a não ocorrência de larvas parasitárias encistadas no tecido muscular traz um bom indicativo de qualidade do tecido muscular desta espécie.

A dieta de *C. kelberi*, apesar de ser constituída por variedade maior de itens alimentares no período chuvoso (fragmento vegetal e sementes consumidos acidentalmente), e serem significativamente diferentes, demonstraram uma alimentação baseada majoritariamente nos itens *Macrobrachium* sp. e fragmento de peixe (Silva, 2020). Sendo assim, a composição bromatológica do conteúdo estomacal foi similar entre os períodos avaliados, e consequentemente, não houve alteração na composição bromatológica do tecido muscular entre os períodos.

Uma análise realizada acerca da composição bromatológica do *Macrobrachium* sp. coletados no rio Paraná, realizada por Furuya et al. (2006), relata a seguinte composição bromatológica: UD = 70,3; MS = 29,7%; CZ = 1,5%; EE = 1,5% e PB = 24,8%. Porém, essa composição é comparativamente diferente da encontrada do conteúdo estomacal da nossa espécie, já que este animal possui outros itens alimentares em sua dieta, além da ocorrência de atividades enzimáticas diferenciais na digestibilidade dos alimentos (Bennemann et al., 1996; Rotta, 2003). No entanto, essa mesma composição se assemelha à composição bromatológica do tecido muscular, o que nos leva a inferir que o processo digestório e a assimilação metabólica do principal item alimentar (*Macrobrachium* sp.) da dieta de *C. kelberi* esteja ocorrendo de maneira eficiente.

A concentração de proteína bruta apresentou valores semelhantes aos da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos organizada no Brasil, que utiliza *Cichla monoculus* (Bloch & Schneider, 1801) como referência para tucunarés (PB = 18%, valor da TACO; PB = 20,13% e 19,80% nos períodos chuvoso e seco para *C. kelberi* presente estudo) (NEPA, 2011). Observa-se que o tecido muscular de *C. kelberi* é altamente proteico, reflexo da assimilação metabólica do conteúdo estomacal que também possui alta concentração de proteína bruta (PB = 37,71% e 30,95% para os períodos chuvoso e seco, respectivamente). Além disso, peixes carnívoros possuem maiores quantidades e atividades de peptidases e proteases, sem contar nas numerosas microvilosidades intestinais, o que aumentam a absorção de peptídeos e aminoácidos nessas espécies, acarretando em porcentagem elevada de proteínas no tecido muscular (Rodrigues et al., 2017).

Quanto à porção lipídica, o tecido muscular de *C. kelberi* pode ser considerado magro, já que apresentou EE = 0,78% no período chuvoso e EE = 0,73% no período seco, valores que estão abaixo de 2% de gordura em peixes, e abaixo do valor de referência para tucunarés, de 1,2%, (NEPA, 2011; Simões, Ribeiro, Ribeiro, Park, & Murr, 2007). Para *Cichla ocellaris* (Bloch & Schneider, 1801), confinados em tanques escavados para produção em Firminópolis, Goiás, Brasil, observou-se EE = 2,72% (Rodrigues et al., 2017), enquanto que em açudes do Nordeste brasileiro essa espécie apresentou EE = 1,6% (Sales & Sales, 1990), sendo considerado um animal com maior concentração lipídica do que *C. kelberi* no presente estudo.

As oscilações na composição bromatológica das espécies ocorrem até mesmo nas que permanecem em cativeiro para produção pesqueira, como é o caso de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Em trabalhos realizados em diferentes localidades do Brasil, verificaram que sua composição bromatológica apresenta grandes intervalos percentuais, por exemplo, para UD os valores vão de 77,91 a 81,5%; PB de 17,7 a 25,5%; EE de 1,2 a 3,6% e para CZ de 0,8 a 2,4% (Caula, Oliveira, & Maia, 2009; Sales & Sales, 1990; Souza, Baccarin, Viegas, & Kronka,

2004). Nota-se, portanto, que existe flutuabilidade na composição bromatológica dentro de uma população submetida a condições diferentes, como a alimentação, idade, massa, variação sazonal e espacial e período reprodutivo, contribuem para o aumento ou diminuição de determinado atributo bromatológico (Souza et al., 2004).

Em relação a outras espécies carnívoras, a composição bromatológica do tecido muscular de *C. kelberi* apresentou semelhanças para os demais atributos bromatológicos (UD, PB e CZ). Por exemplo, em *Hoplias malabaricus* (Bloch , 1794) foi observado UD = 75,05%; PB = 19,74%; EE = 2,00% e CZ = 1,77, capturados em um lago artificial em Boa Vista, Roraima (Araújo et al., 2018). Em espécimes de *Plagioscion squamosissimus* (Heckel , 1840) coletados na represa de Barra Bonita, São Paulo, demonstraram intervalos de UD = 77,98% a 81,21%; PB = 16,58 a 17,59%; EE = 1,48 a 2,47% e CZ = 0,95 a 1,34% (Sanchez, Gomes, & Sase, 1990). Em *Galeocharax knerii* (Steindachner , 1879) observou-se UD que variou de 60 a 80%; PB de 15 a 20% e EE de 2 a 10% coletados no rio Paranapanema em Ipaussú, São Paulo (Ramos, 2011). O que pode nos indicar que *C. kelberi* apresenta composição bromatológica esperada para espécies que apresentam hábito alimentar carnívoro/piscívoro, principalmente quando comparada aos valores da tabela de referência (TACO). A menor concentração de EE muscular pode estar relacionada ao alto valor de UD que a espécie apresentou em nosso estudo, já que existe uma razão proporcional inversa entre concentração de UD e EE: quanto maior UD, menor EE no tecido estudado (Rodrigues et al., 2017), o que nos permite concluir que o tecido muscular de *C. kelberi* é magro, com alta umidade e elevada concentração proteica.

O perfil de FAs apresentou variação entre os períodos de coletas, com contribuição principalmente de PUFA n-3 e n-6, EPA, DHA e ARA no tecido muscular e conteúdo estomacal. Esses são FAs muito importantes na composição dos tecidos e responsáveis por diversas funções metabolicamente ativas do organismo, como reprodução, crescimento e natação (Sargent, Tocher, & Bell, 2003). Eles são encontrados em maiores concentrações na

retina e no cérebro dos peixes, e desenvolvem papel relevante na estrutura e na função das membranas biológicas, além de estarem envolvidos nos processos de inflamação e imunidade (Sorbera, Asturiano, Carrillo, & Zanuy, 2001). A sua deficiência nesses animais pode ocasionar problemas neurais e visuais (Izquierdo, Socorro, Arantzamendi, & Hernández-Cruz, 2000). Maiores porcentagens desses PUFA foram encontrados na composição química do tecido muscular de *C. kelberi*, e a grande quantidade de $\Delta 4$ dessaturase que o gênero *Cichla* possui pode contribuir com essa composição, já que é um intermediário na biossíntese de DHA e EPA (Rodrigues et al., 2017).

Apesar da dieta ser uma fonte fortemente associada às concentrações de FAs teciduais nos peixes (Izquierdo et al., 2000), sabe-se que peixes dulcícolas podem sintetizar PUFA n-3 e n-6, por meio de vias enzimáticas caracterizadas por dessaturação sequencial e ações de alongação, sendo ARA biossintetizado a partir de C18:2n6, e EPA e DHA através de C18:3n3 (Henderson & Tocher, 1987). Há contribuição de C18:2n6 e C18:3n3, que, além de ser primordial na biossíntese de PUFA n-3 e n-6, revelam a participação de vegetais na dieta dessa espécie, os quais são considerados FAs essenciais, não biossintetizado por peixes, necessitando fazer parte da dieta (Inhamuns et al., 2009). Portanto, entende-se, por meio dos FAs que a transferência entre os elos tróficos dentro das comunidades aquáticas ocorre substancialmente, mantendo a biossíntese de FAs necessários às atividades metabólicas do animal (Arts, Brett, & Kainz, 2009). Um peixe carnívoro possui biomarcadores de FAs que pertencem a vegetais, algas e cianobactérias, já que são essenciais na biossíntese dos demais FAs, e assim, envolvem-se em uma verdadeira teia de transferência energética entre os seres vivos que compõem a comunidade (Gomes, Correia, & Moreira, 2010).

A composição de FAs do crustáceo *Macrobrachium* sp., item alimentar que mais contribuiu com as diferenças na dieta entre os períodos de coleta (Silva, 2020), mostrou altas porcentagens de C18:2n6 e ARA, isto é, sua composição é muito semelhante à de todo o

conteúdo estomacal, o que é transferido ao tecido muscular, já que ARA advém da dessaturação e alongação por meio de enzimas de C18:2n6 (FA essencial) (Henderson & Tocher, 1987). Além disso, as composições de FAs semelhantes entre *Macrobrachium* sp. e tecido muscular, fazem referência ao processo de transferência trófica na comunidade aquática, já que esse crustáceo tem uma alimentação variada, em um espectro que vai desde algas e cianobactérias até sedimentos (Lima, Garcia, & Silva, 2014).

A composição de FAs contou ainda com percentuais elevados de SFA e MUFA, essas classes de FAs são responsáveis por responder à demanda energética dos peixes, os quais irão compor as porções de triglicerídeos (Gomes et al., 2016). Os triglicerídeos têm o papel de armazenar gordura em adipócitos, para que seja catabolizada sempre que necessário, como para natação, crescimento e reprodução (Tocher, 2003). Com relação à transferência trófica desses FAs, percebe-se que *Macrobrachium* sp. apresentou altos valores de SFA e MUFA, que podem ser incorporados aos tecidos do peixe (Anido, Zaniboni-Filho, Garcia, Baggio, & Fracalossi, 2015). Dentro dessas classes de FAs, principalmente C16:0, C18:0, C16:1, C18:1, não são os mais recomendados pela Food and Agriculture Organization of the United Nations para a dieta humana, que sugere o consumo de alimentos que contenham, principalmente, menos de 10% de FAs SFA (FAO & OPAS, 2017).

A recomendação ideal para o consumo humano de lipídeos é que sejam consumidos alimentos que contenham maiores proporções de FAs PUFA n-3 (FAO & OPAS, 2017). A relação n-3/n-6 encontrada para *C. kelberi* em nosso trabalho é menor que a encontrada no trabalho de Rodrigues et al. (2017) para *C. ocellaris*. Todavia, está dentro do esperado para peixes, com valor $\geq 1,0$ (Inhamuns et al., 2009). Essa relação entre PUFA n-3 e n-6 é um importante marcador da qualidade nutritiva, já que reflete a importância de se consumir carne com maiores valores de n-3 com relação a série n-6. Dentro da série n-3, os FAs mais importantes para a saúde humana são os FAs de cadeia longa: EAP e DHA (Kaçar, Başhan, &

Oymak, 2016). Nos espécimes de *C. kelberi* coletados no reservatório de Jupia foi possível perceber que essa relação é positiva, próxima de 1:1, tanto no período chuvoso, quanto no período seco, o que denota tecido muscular de qualidade para o consumo humano.

Para a análise parasitológica, o nosso resultado foi semelhante ao encontrado no trabalho de Franceschini et al. (2013), no qual não foram encontradas larvas encistadas no tecido muscular para *Cichla piquiti* Kullander & Ferreira, 2006 capturados também no reservatório de Jupia, alto rio Paraná, Brasil. É possível elencar duas hipóteses que expliquem a ausência de parasitos no tecido muscular de *C. kelberi*. A primeira delas (Hipótese do Escape do inimigo (HEI)) diz que hospedeiro e parasita coevoluíram e necessitam um do outro para sobreviverem dentro de fatores biológicos preponderantes, como, ciclo de vida monoxênico ou heteroxênico, características ecológicas do hospedeiro e transmissão autogênica ou alogênica, que determinam se a espécie parasita sobreviverá em um ambiente introduzido (Keane & Crawley, 2002; Lacerda, Takemoto, Poulin, & Pavanelli, 2013). A segunda (Hipótese *Ecological Fitting*) diz que as espécies de parasitas podem trocar de hospedeiros, já que parasitos podem ser especializados ecologicamente, mas utilizarem de outros hospedeiros devido aos recursos que esses possam lhe oferecer (Brooks, León-Régagnon, McLennan, & Zelmer, 2006), o que denota a não ocorrência de parasitos utilizando o tecido muscular de *C. kelberi* como recurso. Sendo assim, do ponto de vista parasitológico, o tecido muscular torna-se seguro para o consumo humano por não apresentar cistos parasitários em nenhum dos períodos de coleta.

Dessa maneira, inferimos acerca das nossas hipóteses iniciais que: 1) a diferença encontrada na dieta de *C. kelberi* (Silva, 2020) não foi suficiente para alterar as composições bromatológicas do tecido muscular e conteúdo estomacal entre os períodos chuvoso e seco; 2) porém, as alterações na dieta (Silva, 2020) influenciaram o perfil de FAs analisado para ambos períodos, com grande contribuição de FAs metabolicamente ativos, considerados

biomarcadores animais, porém, com biossíntese a partir de FAs advindos de plantas, algas e cianobactérias (base da cadeia alimentar das comunidades aquáticas); 3) o tecido muscular da espécie não apresenta riscos ictiosanitários quanto à análise parasitária, sugerindo segurança para o consumo dos animais coletados no reservatório de Jupia. Sendo possível concluir que o tecido muscular apresentou concentrações adequadas de FAs PUFA n-3 e n-6 para o consumo humano, e que o período seco apresentou maior concentração total desses FAs, apesar de apresentar uma relação n-3/n-6 menor com relação ao período chuvoso, sugerindo, dessa forma, que o consumo dos animais coletados no período chuvoso seja mais vantajoso para a saúde humana.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), pela infraestrutura e apoio logístico fornecidos pelos Laboratório de Bromatologia, Laboratório de Ecologia de Peixes (PIRÁ) e Laboratório de Estudos em Fisiologia Animal (LEFISA). Agradecemos ao Laboratório de Metabolismo e Reprodução de Organismos Aquáticos, Universidade de São Paulo (USP). Também agradecemos o Prof. Francisco Langeani Neto pela assistência na identificação e tombo dos animais (Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - IBILCE/UNESP). Este estudo foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos números 2018/00281-3, 2018/14124-7 e 2019/18138-5 (bolsa de estudos B.S. e auxílios a divulgação I.P.R., respectivamente) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo número 303311/2018-5 (bolsa de produtividade em pesquisa I. P. R.).

ORCID

Bruno da Silva - <https://orcid.org/0000-0001-9862-9031>

José Daniel Soler Garves - <https://orcid.org/0000-0003-4549-3630>

Cristiéle da Silva Ribeiro - <https://orcid.org/0000-0003-4382-9575>

Lidiane Franceschini - <https://orcid.org/0000-0002-4733-4820>

Igor Paiva Ramos - <https://orcid.org/0000-0003-4525-6491>

REFERÊNCIAS

- ANA, Agência Nacional de Águas. (2018). *Dados de operação dos reservatórios SIN*. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin?dropDownListEstados=26&dropDownListReservatorios=19046&dataInicial=01%2F11%2F2017&dataFinal=31%2F08%2F2018&button=Buscar>>. Acesso em: 20.12.2019.
- Anido, R. V., Zaniboni-Filho, E., Garcia, A. S., Baggio, S. R., & Fracalossi, D. M. (2015). Characterization of the ovary fatty acids composition of *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard) (Teleostei: Siluriformes), throughout their reproductive cycle. *Neotropical Ichthyology*, 13(2), 453–460. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20140139>
- Araújo, K. C., Cirne, L. G. A., Souza, W. S., Silva, J. R., Feltran, R. B., Melo, D. R., Melo, P. R. R., Maciel, E. S. (2018). Características morfométricas, rendimento de filé e composição química da Traíra. *Agroecosistemas*, 10(2), 25–36.
- Arts, M. T., Brett, M. T., & Kainz, M. J. (2009). Lipids in aquatic ecosystems. In *Lipids in Aquatic Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-89366-2>
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. *Analytical Chemistry*, Washington, 1984.
- Belik, W. (2003). Perspectivas para segurança alimentar e nutricional no Brasil Prospects for food and nutritional safety in Brazil. *Saúde e Sociedade*, 12(1), 12–20. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/sausoc/v12n1/04.pdf>
- Bennemann, S. T., Orsi, M. L., & Shibatta, O. A. (1996). Atividade alimentar de espécies de peixe do rio Tibagi, relacionada com o desenvolvimento de gordura e das gônadas. *Revista Brasileira de Zoologia*, 13(2), 501–512. <https://doi.org/10.1590/s0101-81751996000200018>
- Boscolo, W. R., Hayashi, C., Feiden, A., Meurer, F., & Signor, A. A. (2008). Composição química e digestibilidade aparente da energia e nutrientes da farinha de resíduos da indústria de filetagem de tilápias, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Ciencia Rural*, 38(9), 2579–2586. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000900027>
- Brasil. (2006). *Lei de segurança alimentar e nutricional*. Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional§.
- Brooks, D. R., León-Régagnon, V., McLennan, D. A., & Zelmer, D. (2006). Ecological fitting as a determinant of the community structure of platyhelminth parasites of anurans. *Ecology*, 87(7), 76–85. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[76:efaado\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[76:efaado]2.0.co;2)
- Catelani, P. A., Bauer, A. B., Di Dario, F., Pelicice, F. M., & Petry, A. C. (2017). First record of pughead deformity in *Cichla kelberi* (Teleostei: Cichlidae), an invasive species in an estuarine system in south-eastern Brazil. *Journal of Fish Biology*, 90(6), 2496–2503. <https://doi.org/10.1111/jfb.13323>
- Caula, F. C. B., Oliveira, M. P. de, & Maia, E. L. (2009). Teor de colesterol e composição centesimal de algumas espécies de peixes do estado do Ceará. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(4), 959–963. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000400031>
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18(1), 117–143. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>
- CESP, Companhia Energética de São Paulo. (2008). *Monitoramento da produção pesqueira*

nos reservatórios das UHE's: Engenheiro Sergio Motta (Porto Primavera), Engenheiro Souza Dias (Jupiá), Ilha Solteira e Três Irmãos.

CESP, Companhia Energética de São Paulo. (2009). *Usina Hidrelétrica Engenheiro Souza Dias (Jupiá)*. Disponível em: <http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa_UsinaJupia?OpenDocument>. Acesso em: 24.09.2017.

FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, & OPAS, Organização Pan-Americana da Saúde. (2017). *Panorama da segurança alimentar e nutricional*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i6977o.pdf>

Folch, J., Lees, M., & Stanley, G. H. S. (1956). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.

Franceschini, L., Zago, A. C., Zocoller-Seno, M. C., Veríssimo-Silveira, R., Ninhaus-Silveira, A., & Silva, R. J. (2013). Endohelminths in *Cichla piquiti* (Perciformes, Cichlidae) from the Paraná River, São Paulo State, Brazil. *Brazilian journal of veterinary parasitology : Órgão Oficial do Colégio Brasileiro de Parasitologia Veterinária*, 22(4), 475–484. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612013000400006>

Furuya, W. M., Hayashi, C., Silva, A. B. M., Oliveira-Santos, O., Souza, N. E., Matsushita, M., & Visentainer, J. V. (2006). Composição centesimal e perfil de ácidos graxos do camarão-d'água-doce. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(4), 1577–1580. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982006000600001>

Gomes, A. D., Correia, T. G., & Moreira, R. G. (2010). Fatty acids as trophic biomarkers in vitellogenic females in an impounded tropical river. *Fish Physiology and Biochemistry*, 36(3), 699–718. <https://doi.org/10.1007/s10695-009-9345-3>

Gomes, A. D., Tolussi, C. E., Boëchat, I. G., Pompêo, M. L. M., Cortez, M. P. T., Honji, R. M., & Moreira, R. G. (2016). Fatty Acid Composition of Tropical Fish Depends on Reservoir Trophic Status and Fish Feeding Habit. *Lipids*, 51(10), 1193–1206. <https://doi.org/10.1007/s11745-016-4196-z>

Henderson, R. J., & Tocher, D. R. (1987). The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Progress in Lipid Research*, 26, 281–347. [https://doi.org/10.1016/0163-7827\(87\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0163-7827(87)90002-6)

Honorato, C. A., Smerman, W., Angélici, A. F., & Bem, C. R. D. (2014). Efeito das classes de peso sobre o rendimento de processamento de tucunaré (*Cichla* sp.). *Scientia Agraria Paranaensis*, 13(1), 65–70. <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v13n1p65-70>

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Produção da pecuária municipal 2018*. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>.

Inhamuns, A. J., Franco, M. R. B., & Batista, W. S. (2009). Seasonal variations in total fatty acid composition of muscles and eye sockets of tucunaré (*Cichla* sp.) from the Brazilian Amazon area. *Food Chemistry*, 117(2), 272–275. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.113>

Izquierdo, M. S., Socorro, J., Arantzamendi, L., & Hernández-Cruz, C. M. (2000). Recent advances in lipid nutrition in fish larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 22(2), 97–107. <https://doi.org/10.1023/A:1007810506259>

- Kaçar, S., Başhan, M., & Oymak, S. A. (2016). Effect of seasonal variation on lipid and fatty acid profile in muscle tissue of male and female *Silurus triostegus*. *Journal of Food Science and Technology*, 53(7), 2913–2922. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2253-5>
- Keane, R. M., & Crawley, M. J. (2002). Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends in Ecology and Evolution*, 17(4), 164–170. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02499-0](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02499-0)
- Kent, G. (1997). Fisheries, food security, and the poor. *Food Policy*, 22(5), 393–404. [https://doi.org/10.1016/s0306-9192\(97\)00030-4](https://doi.org/10.1016/s0306-9192(97)00030-4)
- Kitson, G.; Larsen, B. S., & MCewen, C. N. 1996. *Gas chromatography and mass spectrometry: a practical guide*. New York, Academic Press. 632p.
- Kliemann, B. C. K., Baldasso, M. C., Pini, S. F. R., Makrakis, M. C., Makrakis, S., & Delariva, R. L. (2019). Assessing the diet and trophic niche breadth of an omnivorous fish (*Glanidium ribeiroi*) in subtropical lotic environments: Intraspecific and ontogenic responses to spatial variations. *Marine and Freshwater Research*, 70(8), 1116–1128. <https://doi.org/10.1071/MF18149>
- Kullander, S., & Ferreira, E. J. G. (2006). A review of the South American cichlid genus *Cichla*, with descriptions of nine new species (Teleostei: Cichlidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 17(4), 289–398.
- Lacerda, A. C. F., Takemoto, R. M., Poulin, R., & Pavanelli, G. C. (2013). Parasites of the fish *Cichla piquiti* (Cichlidae) in native and invaded Brazilian basins: Release not from the enemy, but from its effects. *Parasitology Research*, 112(1), 279–288. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-3135-z>
- Lima, J. F., Garcia, J. S., & Silva, T. C. (2014). Natural diet and feeding habits of a freshwater prawn (*Macrobrachium carcinus*: Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Amazon River. *Acta Amazonica*, 44(2), 235–244. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672014000200009>
- Lima, M. M., Mujica, C. P. I., & Lima, M. A. (2012). Caracterização química e avaliação do rendimento em filés de caranha (*Piaractus mesopotamicus*). *Brazilian journal of food technology*, 41–46.
- Marques, H. (2019). *Variações espaço-temporais da ictiofauna de quatro reservatórios do Alto Paraná: uma abordagem de longo termo e aspectos de conectividade fluvial*. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- Maruyama, L. S., Castro, P. M. G., Paiva, P., Silva, M. E. P. A., & Silva, K. M. (2010). Produção pesqueira do baixo Rio Tietê, nos anos de 2003-2004: revisão técnico-científica. *Série Relatórios Técnicos, São Paulo*, 45, 1–16.
- Mendonça, H. S., Santos, A. C. A., Martins, M. M., & Araújo, F. G. (2018). Size-related and seasonal changes in the diet of the non-native *Cichla kelberi* Kullander & Ferreira, 2006 in a lowland reservoir in the southeastern Brazil. *Biota Neotropica*, 18(3).
- Menezes, M. E. S., Lira, G. M., Omena, C. M. B., Freitas, J. D., Sant’ana, A. E. G., & Sant’Ana, A. E. G. (2008). Composição centesimal, colesterol e perfil de ácidos graxos dos peixes tainha (*Mugil cephalus*) e camurim (*Centropomus undecimalis*) da Lagoa Mundaú, AL/Brasil. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 67(2), 89–95. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000400031>
- Novakowski, G. C., Hahn, N. S., & Fugli, R. (2008). Diet seasonality and food overlap of the

- fish assemblage in a pantanal pond. *Neotropical Ichthyology*, 6(4), 567–576.
<https://doi.org/10.1590/s1679-62252008000400004>
- NEPA, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. (2011). Tabela brasileira de composição de alimentos. In *NEPA - UNICAMP* (4º ed). <https://doi.org/10.1007/s10298-005-0086-x>
- Oliveira, S. A. L. (2005). *Pesquisa de helmintos em musculatura e serosa abdominal de peixes de importância comercial capturados no litoral norte do Brasil*. Universidade Federal do Pará.
- Ota, R. R., Deprá, G. C., Graça, W. J., & Pavanelli, C. S. (2018). Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: Revised, annotated and updated. *Neotropical Ichthyology*, 16(2), 1–111. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170094>
- Ozogul, Y., Ozogul, F., & Alagoz, S. (2007). Food Chemistry Fatty acid profiles and fat contents of commercially important seawater and freshwater fish species of Turkey : A comparative study. *Food Chemistry*, 103, 217–223. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.009>
- Parrish, C. C. (1998). Lipid biogeochemistry of plankton, settling matter and sediments in Trinity Bay, Newfoundland. I. Lipid classes. *Organic Geochemistry*, 29(5-7-7 pt 2), 1531–1545. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(98\)00176-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(98)00176-4)
- Ramos, I. P. (2011). *Impactos de pisciculturas em tanques-rede sobre a ictiofauna da represa de Chavantes: dieta, bromatologia e parasitologia*. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
- Rodrigues, B. L., Canto, A. C. V. D. C. S., Costa, M. P., Silva, F. A., Mársico, E. T., & Conte, C. A. (2017). Fatty acid profiles of five farmed Brazilian freshwater fish species from different families. *Plos One*, 12(6), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178898>
- Rotta, M. A. (2003). Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura. In *Embrapa Pantanal* (1º ed). Corumbá.
- Sales, R. D. O., & Sales, A. M. (1990). Estudo da composição química e rendimento de dez espécies de pescado de água doce de interesse comercial nos açudes do nordeste brasileiro. *Ciência Agrônômica*, 21, 27–30.
- Sanchez, J., Gomes, M. I., & Sase, L. E. (1990). Armazenamento da pescada do piauí, *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840), resfriadas. I. Evolução da composição química e alguns indicadores de frescor. *Alimentação e Nutrição*, 2, 73–82.
- Santos, C. A. M. L. (2010). Doenças transmitidas por pescado no Brasil. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, 32(4), 234–241.
- Sargent, J. R., Tocher, D. R., & Bell, J. G. (2003). The Lipids. *Fish Nutrition*, 181–257. <https://doi.org/10.1016/B978-012319652-1/50005-7>
- Simões, M. R., Ribeiro, C. F. A., Ribeiro, S. C. A., Park, K. J., & Murr, F. E. X. (2007). Composicao fisico- quimica , microbiologica e rendimento do file de tilapia Tailandesa (*Oreochromis niloticus*). *Ciencia e tecnologia de alimentos de Campinas*, (27)3, 608–613.
- Siqueira-Silva, D. H. (2011). *Ciclo reprodutivo e análise ultraestrutural da espermatogênese de Cichla kelberi (Teleostei : Perciformes : Cichlidae)*. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
- Sorbera, L. A., Asturiano, J. F., Carrillo, M., & Zanuy, S. (2001). Effects of polyunsaturated

fatty acids and prostaglandins on oocyte maturation in a marine teleost, the european Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). *Biology of Reproduction*, 64(1), 382–389. <https://doi.org/10.1095/biolreprod64.1.382>

Souza, M. L. R. de, Baccarin, A. E., Viegas, E. M. M., & Kronka, S. D. N. (2004). Defumação da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) inteira eviscerada e filé: Aspectos referentes às características organolépticas, composição centesimal e perdas ocorridas no processamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(1), 27–36.

Tocher, D. R. (2003). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in Fisheries Science*, 11(2), 107–184. <https://doi.org/10.1080/713610925>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi exposto nos dois capítulos podemos fazer as seguintes considerações finais:

- 1) A dieta de *C. kelberi* para os períodos chuvoso e seco apresentou alterações quanto a composição, amplitude de nicho trófico e variabilidade individual. A maior contribuição para essas alterações foi dos itens alimentares *Macrobrachium* sp. e fragmento de peixes, sendo *C. kelberi* considerada carnívora/carcinófaga no reservatório de Jupiaá, alto rio Paraná.
- 2) As alterações na dieta não afetaram a composição bromatológica do tecido muscular e do conteúdo estomacal da espécie entre os períodos de coleta, sendo essa composição condizente com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO). O tecido muscular de *C. kelberi* pode ser considerado magro, com alta umidade e elevada concentração proteica.
- 3) O perfil de ácidos graxos apresentou alterações entre os dois períodos avaliados, tanto para o tecido hepático, como para o tecido muscular e para o conteúdo estomacal. Observou-se contribuição principalmente de ácidos graxos PUFA n-3 e n-6, notadamente EPA, DHA e ARA. Além de ser observada contribuição de ácidos graxos marcadores de organismos autotróficos (C18:2n6 e C18:3n3), o que denota a transferência trófica entre os elos da cadeia alimentar aquática.
- 4) É possível concluir que o tecido muscular apresentou concentrações adequadas de ácidos graxos PUFA n-3 e n-6 para o consumo humano, e que o período seco apresentou maior concentração total desses FAs, apesar de apresentar uma relação n-3/n-6 menor que o período chuvoso, sugerindo,

dessa forma, que o consumo dos animais coletados no período chuvoso seja mais vantajoso para a saúde humana.

- 5) Por fim, a análise parasitária não mostrou larvas encistadas no tecido muscular, demonstrando segurança para o consumo humano do ponto de vista parasitológico, já que a presença de parasitos pode trazer riscos à saúde do consumidor.
- 6) É possível concluir que *C. kelberi* apresenta aclimação para sobreviver no reservatório de Jupia, já que os perfis de ácidos graxos teciduais são condizentes com os de outras espécies carnívoras, e apresenta bons indicadores de qualidade bromatológica do tecido muscular. Além disso, a espécie apresenta plasticidade alimentar, que lhe favorece na colonização dos reservatórios nos quais ela foi introduzida, conseguindo se aclimatar aos novos ambientes.