



1  
2 **UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ**  
3 **PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11

12 **MARCIA CORDEIRO TORRES**  
13  
14  
15  
16

17 **EXIGÊNCIA DE LISINA PARA PRODUÇÃO DE TAMBAQUI (*Colossoma***  
18 ***macropomum* CUVIER, 1818) ACIMA DE 500 g**  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27

28 **ILHÉUS - BAHIA**

29 **2024**

30 **MARCIA CORDEIRO TORRES**

31

32

33

34

35

36

**EXIGÊNCIA DE LISINA PARA PRODUÇÃO DE TAMBAQUI (*Colossoma macropomum* CUVIER, 1818) ACIMA DE 500 g**

37

38

39

40

41

42

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

43

44

45

Linha de pesquisa: Produção e Comportamento Animal

46

47

Sub-área: Aquicultura

48

Orientador: Prof. Dr. Luís Gustavo Tavares Braga

49

Coorientador: Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

**ILHÉUS - BAHIA**

60

**2024**



62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98

**MARCIA CORDEIRO TORRES**

**EXIGÊNCIA DE LISINA PARA PRODUÇÃO DE TAMBAQUI (*Colossoma macropomum* CUVIER, 1818) ACIMA DE 500 g**

Ilhéus - Bahia, 27/06/2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Luís Gustavo Tavares Braga  
UESC/DCAA (Orientador)

---

Dra. Daniela Ferraz Bacconi Campeche (EMBRAPA)

---

Dr. Dalton José Carneiro (UNESP)

**ILHÉUS - BAHIA**

**2024**

**AGRADECIMENTOS**

100

101 A Deus, por ser privilegiada por viver todos os dias incríveis, por ter segurado minhas  
102 mãos e guiado o meu caminho; por toda proteção, amor e sabedoria em todos os momentos.  
103 E, por me presentear com momentos e pessoas especiais.

104 A minha família (Marluce, Cícero e Cleidson), a tríade que tenho como suporte, apoio  
105 e por estarem hoje e sempre em oração pela minha vida.

106 Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Braga, por aceitar e permitir a realização dessa  
107 pesquisa com sua orientação, paciência, esforço e conhecimento dividido; e ao Prof. Dr. Wilson  
108 Boscolo pela experiência compartilhada.

109 Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e ao corpo docente pelo  
110 apoio, suporte, ensinamentos compartilhados para formação acadêmica.

111 Agradeço a todos da equipe Aqanut (Lucas, Alan, Lara, Isadora, Jorge, Marianne, Ian,  
112 Leon e Júlia) por terem me recebido com carinho e por terem contribuído durante preparação  
113 das dietas e montagem experimental.

114 Em especial, meu amigo Figueroa (figurinha carimbada) pelo companheirismo e  
115 paciência durante caminhada acadêmica e aos cafés da tarde recebido nessa jornada kkkk e toda  
116 sua família (Jenifer, Samantha, Minerva e Gorge).

117 A minha querida Sinara e a pequena Luna por ter me recebido com carinho e por toda  
118 ajuda, paciência, conversas e resenhas. E aos demais colegas de república.

119 Aos funcionários da Fazenda Almada (Tchó, Anderson, Drica e demais) pelo apoio e  
120 cuidado durante percurso do experimento.

121 Agradeço aos técnicos e demais funcionários da UESC pelo suporte e momentos de  
122 risadas e descontrações. Aos colaboradores da Agroindústria que se fizeram presentes na  
123 preparação das dietas. Aos colegas José, Inês e Jamile do Laboratório de Análises Clínicas  
124 (Hospital Veterinário); e Erick do Laboratório de Nutrição Animal.

125 Agradeço a UESC por fornecer ensino, infraestrutura e condição de qualidade; a  
126 UNIVASF pelo apoio laboratorial e a bolsa concedida pela FAPESB e CAPES.

127 À Fazenda Canta Galo por ter cedido os tambaquis para pesquisa.

128 À empresa CJ Bio pelo fornecimento dos aminoácidos para este experimento.

129 Por fim, agradeço imensamente a todas as pessoas que contribuíram no meu processo  
130 de conhecimento e crescimento acadêmico.

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

156

157

(Josué 1:9)

158 **EXIGÊNCIA DE LISINA PARA PRODUÇÃO DE TAMBAQUI (*Colossoma***  
159 ***macropomum* CUVIER, 1818) ACIMA DE 500 g**

160  
161 **RESUMO**

162  
163 A lisina é um aminoácido essencial de referência usualmente utilizado para determinar padrão  
164 ideal de proteína. Objetivou-se determinar o teor de lisina para o melhor desenvolvimento  
165 zootécnico do tambaqui (*Colossoma macropomum*) acima de 500 g. Em um sistema de  
166 recirculação de água foram utilizados 180 espécimes de tambaqui ( $467,21 \pm 30,36$  g) distribuídos  
167 em 15 tanques de 4 m<sup>3</sup> com aeração constante e filtragem biológica. O ensaio biológico foi  
168 realizado em um delineamento inteiramente casualizado composto por cinco tratamentos com  
169 três repetições com 12 peixes por unidade experimental. Os tratamentos consistiram de cinco  
170 dietas experimentais com 28% de proteína bruta com a adição de L-lisina HCl, resultando em  
171 concentrações crescentes de lisina (1,30; 1,45; 1,62; 1,72 e 1,86%). Os peixes foram  
172 alimentados três vezes ao dia (7, 9 e 16h) com uso de alimentadores automáticos durante 56  
173 dias. Foram observados regressão quadrática ( $p < 0,05$ ) em relação aos níveis de lisina da dieta  
174 mostraram que a necessidade de lisina para tambaqui para ganho de peso, taxa de crescimento  
175 específico, conversão alimentar e taxa de eficiência proteica foram de 1,58; 1,58; 1,63 e 1,64  
176 %, respectivamente. Houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) na composição química do filé, exceto  
177 os parâmetros hematológicos e metabólitos plasmáticos sanguíneos. Foram observadas  
178 diminuições da atividade hepática da ALT e protease alcalina em peixes alimentados com dietas  
179 contendo níveis altos de lisina ( $p < 0,05$ ). O perfil de aminoácidos totais do filé apresentou  
180 significância ( $p < 0,05$ ) com nível de 1,62% de lisina na dieta. Conclui-se que a exigência de  
181 lisina na dieta para tambaqui para otimizar o ganho de peso corresponde a 1,58% de lisina  
182 (5,64% de proteína bruta).

183  
184  
185  
186  
187  
188  
189 **Palavras - chave:** desempenho de crescimento; necessidade de aminoácidos; peixe  
190 amazônico; ganho de peso

191 **LYSINE REQUIREMENT FOR TAMBAQUI PRODUCTION *Colossoma macropomum***  
192 **(CUVIER, 1818) OVER 500 g**

193  
194  
195 **ABSTRACT**

196  
197 Lysine is an essential reference amino acid usually used to determine the ideal protein standard.  
198 The aim was to determine the lysine content for the best zootechnical development of tambaqui  
199 (*Colossoma macropomum*) above 500g. In a recirculating water system, 180 tambaqui  
200 specimens ( $467,21 \pm 30,36$  g) were used, distributed in 15 4 m<sup>3</sup> tanks with constant aeration and  
201 biological filtration. The biological trial was carried out in a completely randomized design  
202 consisting of five treatments with three replicates and 12 fish per experimental unit. The  
203 treatments consisted of five experimental diets with 28% crude protein with the addition of L-  
204 lysine HCl, resulting in increasing concentrations of lysine (1,30; 1,45; 1,62; 1,72 and 1,86%).  
205 The fish were fed three times a day (7, 9 and 16h) using automatic feeders for 56 days. Quadratic  
206 regression ( $p < 0,05$ ) in relation to dietary lysine levels showed that the lysine requirement for  
207 tambaqui for weight gain, specific growth rate, feed conversion and protein efficiency rate were  
208 1,58; 1,58; 1,63 and 1,64%, respectively. There was a significant effect ( $p < 0,05$ ) on the  
209 chemical composition of the fillet, except for the hematological parameters and blood plasma  
210 metabolites. Decreases in the hepatic activity of ALT and alkaline protease were observed in  
211 fish fed diets containing high levels of lysine ( $p < 0,05$ ). The total amino acid profile of the fillet  
212 was significant ( $p < 0,05$ ) at a level of 1,62% lysine in the diet. It can be concluded that the lysine  
213 requirement in the diet for tambaqui to optimize weight gain corresponds to 1,58% lysine  
214 (5,64% crude protein).

215  
216  
217  
218  
219  
220  
221  
222  
223  
224  
225  
226  
227  
228 **Key words:** growth performance; amino acid requirements; amazonian fish; weight gain  
229  
230

## LISTA DE TABELAS

231	
232	
233	
234	Tabela 1. Formulação e composição química das dietas experimentais com níveis crescentes de
235	lisina para tambaqui ( <i>Colossoma macropomum</i> ) .....25
236	
237	Tabela 2. Perfil de aminoácidos essenciais e não essenciais analisados das dietas experimentais
238	para tambaqui ( <i>C. macropomum</i> ) .....26
239	Tabela 3. Valores médios do desempenho zootécnico de tambaqui ( <i>C. macropomum</i> )
240	alimentado com dietas contendo diferentes níveis de lisina por 56 dias .....31
241	
242	Tabela 4. Valores médios da composição química analisada (% matéria seca) do filé do
243	tambaqui ( <i>C. macropomum</i> ) alimentado com dieta contendo níveis crescentes de lisina .....34
244	
245	Tabela 5. Valores médios dos parâmetros hematológicos e bioquímicos do tambaqui ( <i>C.</i>
246	<i>macropomum</i> ) alimentados com dietas contendo diferentes níveis de lisina por 56 dias .....34
247	
248	Tabela 6. Valores médios da atividade enzimática hepática e digestiva do tambaqui ( <i>C.</i>
249	<i>macropomum</i> ) alimentado com dietas contendo níveis crescentes de lisina por 56 dias .....35
250	
251	Tabela 7. Perfil de aminoácidos essenciais e não essenciais do filé de tambaqui alimentados
252	com níveis crescentes de lisina.....35
253	

## LISTA DE FIGURAS

254		
255		
256		
257	Figura 1. Efeito do nível de lisina na dieta sobre o ganho de peso do tambaqui ( <i>C. macropomum</i> )	
258	acima de 500g.....	32
259	Figura 2. Efeito dos níveis de lisina sobre a conversão alimentar do tambaqui ( <i>C. macropomum</i> )	
260	acima de 500g.....	32
261	Figura 3. Efeito dos níveis de lisina sobre taxa de crescimento específico (% dia <sup>-1</sup> ) do tambaqui	
262	( <i>C. macropomum</i> ) acima de 500g.....	33
263	Figura 4. Efeito dos níveis de lisina sobre taxa de eficiência proteica do tambaqui ( <i>C.</i>	
264	<i>macropomum</i> ) acima de 500g.....	33
265		

## SUMÁRIO

266		
267		
268	1 INTRODUÇÃO.....	12
269	2 OBJETIVOS.....	14
270	2.1. Objetivo Geral.....	14
271	2.2. Objetivos Específicos.....	14
272	3 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
273	3.1. Aquicultura.....	15
274	3.2. Panorama da produção mundial e brasileira de pescado.....	15
275	3.3. Caracterização do tambaqui <i>Colossoma macropomum</i> .....	16
276	3.4. Nutrição.....	18
277	3.5. Proteínas e aminoácidos.....	19
278	3.6. Metabolismo e atividade enzimática.....	21
279	4 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
280	4.1. Declaração ética.....	23
281	4.2. Local, animais e condições experimentais.....	23
282	4.3. Preparação das dietas e manejo alimentar.....	24
283	4.4. Variáveis de desempenho produtivo.....	27
284	4.5. Coleta das amostras para análises laboratoriais.....	27
285	4.6. Análise química da dieta experimental e filé.....	28
286	4.7. Análises hematológicas e plasmáticas.....	29
287	4.8. Análise da atividade enzimática hepática e digestiva.....	29
288	4.9. Análise estatística.....	30
289	5 RESULTADOS.....	31
290	6 DISCUSSÃO.....	37
291	7 CONCLUSÃO.....	45
292	8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
293		

## 294 1 INTRODUÇÃO

295

296 Na aquicultura, os custos de produção estão diretamente relacionados com níveis de proteína  
297 definidos na formulação e o processamento das rações. Com o crescimento da aquicultura, os  
298 custos com ração representam de 40 a 60%, visto que a proteína bruta é o componente  
299 nutricional mais oneroso (CHENG *et al.*, 2003; LI *et al.*, 2013; KHAN, 2014).

300 A produção brasileira de cultivo por espécies nativas foi de 263.479 t em 2023 (PEIXE BR,  
301 2024), e para manter o contínuo crescimento dos peixes tem sido utilizada estratégia de  
302 alimentação prática permitindo atender as exigências nutricionais considerando as diferenças  
303 fases de crescimento (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

304 O tambaqui *Colossoma macropomum* é uma espécie nativa da bacia Amazônica de hábito  
305 alimentar onívoro, com características excelentes para o cultivo da espécie devido ao seu  
306 crescimento, adaptação em diferentes sistemas de produção, resistência a hipóxia e plasticidade  
307 alimentar (GUIMARÃES; MARTINS, 2015; NEVES *et al.*, 2020; MARCHÃO *et al.*, 2020).  
308 Diante dos aspectos relevantes da espécie, a disponibilidade por informações sobre a  
309 necessidade nutricional do tambaqui ainda é pouco desconhecida, principalmente as  
310 relacionadas aos aminoácidos essenciais para fase de crescimento (engorda).

311 O balanceamento da dieta com base no conceito de proteína ideal tem sido aplicado para  
312 elaboração de dietas, o que corresponde a composição de aminoácidos com equilíbrio ideal,  
313 sem excesso ou déficits a fim de atender a necessidade de manutenção e crescimento  
314 (ABIMORAD *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2018; FIRMO *et al.*, 2018; TEIXEIRA *et al.*, 2020).

315 As informações adequadas sobre exigências nutricionais do tambaqui contribuem para o  
316 desenvolvimento de dietas apropriadas com a redução de custos com alimentação (BICUDO *et*  
317 *al.*, 2009; BUZOLLO *et al.*, 2019). Nesse sentido, a nutrição de peixes tem utilizado  
318 aminoácidos essenciais. Dentre eles, a lisina (BOMFIM *et al.*, 2010; FURUYA *et al.*, 2013;  
319 MARCHÃO *et al.*, 2020; TEIXEIRA *et al.*, 2020) que trata-se de um aminoácido referência  
320 para determinar o padrão ideal de proteína (SILVA *et al.*, 2018).

321 A lisina é um aditivo seguro e tem papel metabólico na constituição de proteína tecidual e  
322 encontra-se presente em elevada proporção no tecido muscular, desempenha papel de substrato  
323 para a síntese de carnitina para o transporte de ácidos graxos de cadeia longa para a mitocôndria  
324 (FURUYA *et al.*, 2004; LI *et al.*, 2009; MARCHÃO *et al.*, 2020; RICHTER *et al.*, 2020).

325 De acordo com Buzollo *et al.* (2019) é necessário conhecer as exigências nutricionais para ter  
326 eficiência nutricional e, conseqüentemente reduzir os impactos ambientais que são gerados no  
327 cultivo do tambaqui.

328 Nesse contexto, as informações sobre o tambaqui relacionado a sua exigência nutricional são  
329 insuficientes apesar de ser a segunda espécie mais produzida no país e apreciada devido a sua  
330 importância e características. Desta forma, este trabalho teve como objetivo determinar a  
331 exigência de lisina para o melhor desenvolvimento zootécnico do tambaqui (*Colossoma*  
332 *macropomum*) acima de 500g.

333 **2 OBJETIVOS**

334

335

336 **2.1. Objetivo Geral**

337

338 Determinar o teor de lisina em dietas para o melhor desenvolvimento zootécnico do tambaqui  
339 (*Colossoma macropomum*) acima de 500g.

340

341 **2.2. Objetivos Específicos**

342

343 • Analisar o desempenho zootécnico de tambaqui alimentado com dietas contendo  
344 diferentes níveis de L-lisina.

345 • Avaliar a composição química do filé de tambaquis alimentado com dietas contendo  
346 diferentes níveis de L-lisina.

347 • Avaliar os efeitos de níveis diferentes de L-lisina em tambaqui sobre os índices  
348 hematológico e bioquímico.

349 • Analisar as atividades de enzimas hepática e digestivas do tambaqui alimentado com  
350 dietas contendo diferentes níveis de L-lisina.

351

### 352 3 REVISÃO DE LITERATURA

353

#### 354 3.1. Aquicultura

355

356 Segundo Martins *et al.* (2011) e Khan (2014), com a exploração excessiva dos estoques e o  
357 esgotamento dos suprimentos de peixes oriundos da pesca de captura, a aquicultura tem sido  
358 apresentada como alternativa por ter um crescimento favorável, potencial para atender a  
359 demanda por alimentos aquáticos e, principalmente como fonte produção proteica de qualidade.

360 Com a expansão da produção sustentável da aquicultura, os alimentos produzidos com  
361 qualidade tornam-se uma maneira para enfrentar desafios a respeito da demanda populacional  
362 nos últimos anos através do consumo de peixes como forma de garantir crescimento humano  
363 adequado (KHAN, 2014; BUSSONS *et al.*, 2021; FAO, 2022).

364

#### 365 3.2. Panorama da produção mundial e brasileira de pescado

366

367 O Brasil apresentou produção de peixe de cultivo, em 2023, de 887.029 toneladas, um aumento  
368 de 3,1% em relação ao ano anterior (PEIXE BR, 2024), em função de sua potencialidade para  
369 atividade aquícola, com predominância de clima tropical, disponibilidade hídrica, extensão  
370 territorial e ampla aceitação de mercado consumidor. Os números revelaram um cenário  
371 promissor para a exportação de peixes no Brasil, especialmente para segunda espécie mais  
372 exportada (tambaqui) atingindo 70 toneladas em 2022 (EMBRAPA, 2023).

373 A produção de peixes nativos atingiu cerca de 263.479 t em 2023, o que a representa 29,7% da  
374 produção nacional, sendo os estados de Rondônia, Maranhão e Mato Grosso os principais  
375 produtores, por ter inúmeras espécies nativas com viabilidade econômica (PEIXE BR, 2023;  
376 2024). A produção de espécies nativas apresenta ganhos importantes para o setor de produção  
377 de proteína animal, especialmente no contexto econômico, mas também com relevância social  
378 e ambiental (BOMFIM *et al.*, 2020; POLESE *et al.*, 2022).

379 Entre as espécies nativas mais cultivadas no Brasil e em países da América do Sul e Central  
380 (WOYNÁROVICH; ANROOY, 2019; FELIX e SILVA *et al.*, 2020; MARCHÃO *et al.*, 2022),  
381 o tambaqui (*Colossoma macropomum*) é a segunda espécie comercial mais produzida pela  
382 piscicultura brasileira (BOMFIM *et al.*, 2020) devido às características intrínsecas como: rápido  
383 crescimento, comportamento alimentar onívoro, qualidade e sabor da carne, características  
384 sensoriais e nutricionais, alta taxa de crescimento, fácil adaptação que favorecem o mercado

385 consumidor e baixos custos de produção quando comparado outras espécies de peixes de  
386 cultivo (ABIMORAD *et al.*, 2010; GUIMARÃES; MARTINS, 2015; SANDRE *et al.*, 2017;  
387 WOYNÁROVICH; ANROOY, 2019; COSTA *et al.*, 2020). A espécie tem sido explorada pela  
388 pesca artesanal e comercial por apresentar aspectos socioeconômico e ecológico (WOOD *et al.*,  
389 2016).

390 Embora o aumento da produção aquícola tem sido expressivo, é fundamental a utilização  
391 adequada dos ingredientes que são utilizados na formulação de rações (POLESE *et al.*, 2022)  
392 para demanda por proteína de boa qualidade. Dessa forma, o cultivo de espécies nativas tem  
393 avaliado valores de digestibilidade dos ingredientes e da dieta sendo crucial para garantir que  
394 necessidade nutricional sejam atendidas, entretanto a falta de conhecimento pode ocasionar  
395 dietas com níveis elevados ou deficientes em nutrientes (SANDRE *et al.*, 2017).

396

### 397 **3.3. Caracterização do tambaqui *Collossoma macropomum***

398

399 A espécie *Collossoma macropomum* (CUVIER, 1818) comumente conhecida por tambaqui,  
400 pertence à família Serrasalmidae e com ampla distribuição geográfica pela América do Sul,  
401 principalmente na região Amazônica. Espécies de peixes de água doce desta família apresentam  
402 importância econômica e social, altas taxas de crescimento e fácil adaptação aos sistemas de  
403 cultivos intensivo (GUIMARÃES; MARTINS, 2015; SANDRE *et al.*, 2017).

404 A espécie é abundante nas bacias do rio Amazonas, o Orinoco e do Paraná-Paraguai, além de  
405 ser encontrada em países da América Latina (Bolívia, Peru, Venezuela e Colômbia) e América  
406 do Sul e Central (VIDAL JR *et al.*, 1998; GUIMARÃES; MARTINS, 2015;  
407 WOYNÁROVICH; ANROOY, 2019).

408 O tambaqui possui rastros branquiais tipicamente de peixes com hábito alimentar planctófago  
409 (VIDAL JR *et al.*, 1998) e se adapta em águas mais quentes da bacia amazônica (MORANTE  
410 *et al.*, 2021). Possui características de adaptação ao habitat, onde em rios de água preta pode ter  
411 coloração corporal escura e em águas claras seu dorso é verde-oliva e na região ventral, de  
412 verde-escuro a preto (WOYNÁROVICH; ANROOY, 2019) além de grande robustez,  
413 adaptação em sistema de produção intensivo e resistência ao baixo oxigênio dissolvido  
414 (MARCHÃO *et al.*, 2020).

415 Em fase pré-adulta, os espécimes apresentam dentes molariformes com duas fileiras na maxila  
416 e mandíbula possibilitando esmagar frutas, grãos e sementes, além disso, o trato gastrointestinal

417 é constituído por intestino alongado, estômago desenvolvido e número elevado de cecos  
418 pilóricos que auxilia absorção dos nutrientes digeridos (WOYNÁROVICH; ANROOY, 2019).  
419 O tambaqui apresenta plasticidade alimentar tornando-se capaz de usar diversas fontes de  
420 energia não proteica com finalidade de poupar proteína, dessa forma, para elaboração das dietas  
421 deve ter cautela em estudos de exigência de proteína (GUIMARÃES; MARTINS, 2015).

422 A espécie possui hábito alimentar onívoro com tendência a herbívoros, na natureza, o  
423 comportamento alimentar consiste em dieta contendo frutas e sementes ricos em carboidratos  
424 e lipídios, considerados principais fonte de energia (FURUYA *et al.*, 2004; SANDRE *et al.*,  
425 2017; FELIX e SILVA *et al.*, 2020), além da capacidade de digerir proteína animal por razões  
426 de adaptação alimentar (NUNES *et al.*, 2006).

427 De acordo com Neves *et al.* (2020), em ambientes hipóxicos os peixes amazônicos  
428 desenvolveram respostas adaptativas, por sua vez, o tambaqui apresenta mecanismo  
429 direcionada para respiração na superfície aquática devido a projeção labial capaz de capturar  
430 água rica em O<sub>2</sub>.

431 Estudo sobre a fisiologia da espécie tem sido aprimorada tornando-se uma espécie modelo  
432 neotropical por apresentar capacidade em utilizar diferentes fontes de carboidratos devido  
433 adaptações no trato digestivo, além de possuírem eficiência no uso de lipídios como fonte  
434 energética (RODRIGUES, 2014; GUIMARÃES; MARTINS, 2015; WOOD *et al.*, 2016).  
435 Todavia, estudo feito por Guimarães *et al.* (2014) reforça que mais informações são necessárias  
436 para compreensão da fisiologia nutricional do tambaqui.

### 3.4. Nutrição

437  
438

439 Na aquicultura, os custos de produção estão diretamente relacionados com níveis de proteína  
440 definidos na formulação e o processamento das rações. Com a rápida evolução da aquicultura,  
441 os custos com ração representam de 40 a 60% visto que a proteína bruta é o componente  
442 nutricional mais oneroso (CHENG *et al.*, 2003; LI *et al.*, 2013; KHAN, 2014) sendo exigido  
443 em níveis elevados. Entretanto a utilização e o conhecimento dos nutrientes (proteína, lipídios,  
444 carboidratos, vitaminas e minerais) para formulação de rações podem resultar em economia  
445 através do uso de fontes alternativas proteicas (MENDONÇA *et al.*, 2012; BOMFIM *et al.*,  
446 2020). Por outro lado, são nutrientes essenciais na aquicultura e que têm influenciado nos  
447 indicadores de crescimento e manutenção dos peixes (MARCHÃO *et al.*, 2022).

448 Estudos têm abordado a disponibilidade de aminoácidos na dieta com devida importância para  
449 formulação de rações almejando adequado balanceamento ou equilíbrio de aminoácidos  
450 (ABIMORAD *et al.*, 2010;2017; TEIXEIRA *et al.*, 2020; MARCHÃO *et al.*, 2022; 2024). De  
451 acordo com Buzollo *et al.* (2019) é necessário conhecer as exigências nutricionais para ter  
452 eficiência nutricional e, conseqüentemente reduzir os impactos ambientais que são gerados no  
453 cultivo do tambaqui.

454 Assim, informações adequadas sobre exigências nutricionais e nutrientes digestíveis são  
455 necessárias para desenvolver dietas adequadas para o crescimento e saúde do tambaqui,  
456 contribuindo com a redução de custos com alimentação (BICUDO *et al.*, 2009; BUZOLLO *et*  
457 *al.*, 2019).

458 O balanceamento da dieta com base no conceito de proteína ideal tem sido aplicado para  
459 elaboração de dietas, o que corresponde a composição de aminoácidos com equilíbrio ideal sem  
460 excesso ou déficits a fim de atender a necessidade de manutenção e crescimento (ABIMORAD  
461 *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2018; FIRMO *et al.*, 2018; TEIXEIRA *et al.*, 2020).

462 As dietas eficientes com alta qualidade nutricional influenciam na conversão alimentar,  
463 qualidade da carcaça e ganho de peso (KHAN *et al.*, 2014) enquanto que nutrientes fornecidos  
464 de forma inadequada ou em níveis elevados em relação a exigência nutricional do animal podem  
465 influenciar o crescimento, gerando perda de peso e aumento na descarga de nitrogênio  
466 (WILSON e HALVER., 1986; GONÇALVES e CARNEIRO, 2003; BOMFIM *et al.*, 2020).

467 Para criação do tambaqui é fundamental que haja conhecimento dos fatores relacionados ao  
468 potencial zootécnico da espécie, principalmente a importância com o manejo alimentar para o

469 sucesso do cultivo (RODRIGUES *et al.*, 2014). Todavia, a avaliação de crescimento pode ser  
470 expressa também por meio da morfologia e das fibras musculares esqueléticas, principais  
471 componentes dos filés de peixes (BUZOLLO *et al.*, 2019).

472 Mesmo com o crescimento considerável na produção de tambaqui, as informações obtidas a  
473 respeito das exigências nutricionais ainda são limitadas para a espécie, independente do sistema  
474 de criação utilizado. Por essa razão, o conhecimento sobre exigências nutricionais e uso de  
475 aminoácidos essenciais é de suma importância para a produção de dietas para a espécie,  
476 possibilitando a máxima resposta produtiva com redução em custos de produção, redução dos  
477 impactos ambientais, formulação de ração econômica e, principalmente proporcionar saúde aos  
478 peixes (KHAN 2014; GUIMARÃES; MARTINS, 2015; HUA *et al.*, 2019).

479

### 480 **3.5. Proteínas e aminoácidos**

481

482 A proteína é um macronutriente importante para desempenhar algumas funções biológicas  
483 (MELO *et al.*, 2016), presente em maior proporção no tecido muscular dos peixes. No processo  
484 digestivo desse nutriente há liberação de aminoácidos livres, absorvidos pelo trato intestinal e  
485 direcionados para outros tecidos para construção de novas proteínas (WILSON; HALVER.,  
486 1986).

487 Os aminoácidos essenciais mantidos em proporções ideais são necessários para o crescimento  
488 muscular, síntese de proteínas além do metabolismo de lipídios e carboidratos (OLIVEIRA *et*  
489 *al.*, 2021). Os peixes não têm uma exigência dietética de proteínas, mas, precisam de  
490 aminoácidos essenciais e não essenciais em quantidade equilibrada para atender necessidade  
491 suas exigências nutricionais (SILVA *et al.*, 2018; FIRMO *et al.*, 2018).

492 Segundo Abimorad *et al.* (2010) os aminoácidos disponíveis na dieta são importantes para  
493 formulação mais eficiente. E o entendimento sobre necessidade nutricional em proteína e  
494 aminoácidos permite que rações sejam desenvolvidas com qualidade equilibrada em  
495 aminoácidos (KHAN, 2014). Segundo Cheng *et al.* (2003) o uso de aminoácido de forma  
496 suplementar contribui para garantia da necessidade nutricional quando grande proporção de  
497 proteínas vegetais está presente na dieta, além da limitação da lisina encontrada em proteínas  
498 vegetais.

499 Para determinação do padrão ideal de proteína, tem sido realizado a suplementação com  
500 aminoácidos sintéticos a exemplo da lisina por ser aminoácido de referência e usualmente

501 apontado como limitante em fontes de proteína vegetal em comparação com a concentração  
502 elevada na proteína de origem animal (FURUYA *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2018). Dessa  
503 forma, a suplementação com lisina em dietas de peixes baseado em proteína vegetal pode ser  
504 uma estratégia para reduzir níveis de fósforo e proteína bruta com condições de diminuir o custo  
505 da ração e cumprir os requisitos de descarga de efluentes tornando uma criação de peixes  
506 sustentável (CHENG *et al.*, 2003).

507 A lisina (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) tem papel metabólico na constituição de proteína tecidual e encontra-se  
508 presente em elevada proporção no tecido muscular, sendo destaque em trabalhos voltados para  
509 a nutrição de peixes (FURUYA *et al.*, 2004; MARCHÃO *et al.*, 2020). Este aminoácido pode  
510 desempenhar papel de substrato para a síntese de carnitina, que é necessária para o transporte  
511 de ácidos graxos de cadeia longa do citosol para a mitocôndria para oxidação (LI *et al.*, 2009).

512 Um desequilíbrio entre proteína e energia gera aumento de custo de produção e perda de  
513 nitrogênio ocasionado pelo alto teor de proteína provocando a deterioração da qualidade da  
514 água (BICUDO *et al.*, 2010; LI *et al.*, 2013). Uma forma de minimizar o custo devido a  
515 alimentação inadequada, é otimizar o nível e a retenção de proteína (BICUDO *et al.*, 2010).  
516 Deve-se destacar alguns aspectos que influenciam a necessidade de proteína na dieta dentre  
517 eles: relação entre proteína e energia, composição de aminoácidos, digestibilidade da proteína  
518 e quantidade de fontes de energia não proteica (WILSON; HALVER, 1986).

519 Rodrigues (2014) e Oliveira *et al.* (2021) relataram a falta de estudos com peixes redondos em  
520 fase intermediária ou final de engorda visto que a maior parte estão direcionados para fases  
521 iniciais. A necessidade de proteína dos peixes pode diminuir devido ao aumento do crescimento  
522 e idade (WILSON e HALER., 1986; HUA *et al.*, 2019). Os autores ressaltam a necessidade de  
523 pesquisas para responder lacunas sobre suplementação de lisina para o desempenho de peixes  
524 maiores e o efeito do peso corporal em relação a exigência por aminoácidos essenciais (CHENG  
525 *et al.*, 2003; HUA *et al.*, 2019).

526 Nesta espécie em estudo, há uma gama de informações disponíveis para tambaqui em início da  
527 vida entre 1 e 120 g (SILVA *et al.*, 2018; TEIXEIRA *et al.*, 2020; LIEBL *et al.*, 2021; 2022;  
528 MARCHÃO *et al.*, 2020; 2022; ROCHA *et al.*, 2023) por outro lado, existe carência de dados  
529 na literatura direcionados aos animais na fase intermediária e engorda que esclarecem sobre as  
530 exigências de aminoácidos em dietas para a espécie. Neste sentido, ressalta-se a importância de  
531 obter informações com a lisina direcionada que servirá de referência para os demais  
532 aminoácidos.

533 Segundo Oliveira *et al.* (2021) a necessidade de aminoácidos essenciais disponibilizados é  
534 basicamente baseada na análise da carcaça, deposição na carcaça e método dose-resposta para  
535 formulação de ração. Entretanto, diversos autores têm utilizado o método dose-resposta e o  
536 conceito de proteína ideal para determinar a necessidade por aminoácidos (BICUDO *et al.*,  
537 2009; TAKISHITA *et al.* 2009; ABIMORAD *et al.*, 2010; MICHELATO *et al.*, 2016; SILVA  
538 *et al.*, 2018; TEIXEIRA *et al.*, 2020).

539 A divergência entre valores de proteína bruta e influências na exigência em aminoácidos  
540 encontrados em estudos está relacionado com fatores abióticos, relação entre energia: proteína,  
541 valor biológico da proteína, genética, tamanho e idade do animal (VIDAL JR *et al.*, 1998;  
542 FURUYA *et al.*, 2004). Outro aspecto importante é que entre espécies do mesmo grupo  
543 onívoros, observa-se processos digestivos (morfofisiológico e bioquímicos) diferentes sendo  
544 capaz de induzir resultados distintos (ABIMORAD *et al.*, 2010).

545 Na nutrição de peixes, encontram-se lacunas a respeito de referência sobre a necessidade de  
546 lisina por método dose-resposta para o tambaqui (TEIXEIRA *et al.*, 2020) desta forma, o  
547 trabalho busca elucidar com mais informações sobre a espécie como forma de agregar na  
548 melhoria do crescimento e saúde animal.

549

### 550 **3.6. Metabolismo e atividade enzimática**

551

552 As condições fisiológicas e o perfil metabólico em peixes são importantes critérios para serem  
553 avaliados e empregados para acompanhar o envolvimento da atividade alimentar para a  
554 utilização dos nutrientes (ALMEIDA *et al.*, 2011). Outro aspecto que também pode ser  
555 considerado é a distribuição de enzimas no trato digestivo, as quais são responsáveis pela  
556 digestão química e disponibilização dos nutrientes encontrados na dieta (CORRÊA *et al.*,  
557 2007).

558 De forma geral, a capacidade de digestão dos carboidratos em peixes é bastante diferente,  
559 refletindo sobre partes anatômicas e funcional do trato gastrointestinal e, conseqüentemente a  
560 função digestiva pode hidrolisar os carboidratos contido no alimento utilizado por espécies  
561 onívoras e herbívoros (ALMEIDA *et al.*, 2006). As secreções digestivas fornecem informações  
562 sobre a fisiologia nutricional contribuindo para resolução de problemas nutricionais na  
563 alimentação de peixes (HIDALGO *et al.*, 1999).

564 Nos peixes, o fígado tem papel de controle das funções vitais, na fisiologia, imunidade,  
565 equilíbrio da glicemia, além da estocagem de energia em glicogênio que pode ser utilizada em  
566 casos de demanda energética e na regulação metabólica em resposta do estado nutricional  
567 (TAVARES-DIAS *et al.*, 2000; ALMEIDA *et al.*, 2011; PINHEIRO *et al.*, 2015; FARIAS *et*  
568 *al.*, 2021).

569 Os aminoácidos degradados são advindos da dieta ou pela quebra de proteínas presentes em  
570 tecidos, por meio da desaminação podendo ser convertidos em intermediários e pela oxidação  
571 dos intermediários gerados (ALEXIS; PAPAPARASKEVA-PAPOUTSOGLU, 1986). Dessa  
572 forma, é fundamental o entendimento do sistema metabólico intermediário sobre os efeitos dos  
573 nutrientes disponibilizados na dieta para peixes teleósteos (MELO *et al.*, 2006).

574 Segundo Melo *et al.* (2016) por meio de enzimas metabólicas dos aminoácidos é possível ter  
575 resultado sobre a disponibilidade de proteína na dieta, além disso, ressalta que aplicações  
576 bioquímicas contribuam para ajuste dos componentes dos nutrientes presentes nas dietas com  
577 direcionamento ao poupar efeitos deletérios indesejados no animal.

578 Para avaliação do funcionamento metabólico durante processo do estado de alimentação em  
579 peixes, o metabolismo dos aminoácidos envolve reações enzimáticas de transaminações e  
580 desaminações (MELO *et al.*, 2006) podendo ter relação entre o desempenho, metabolismo e  
581 composição da dieta (ALEXIS; PAPAPARASKEVA-PAPOUTSOGLU, 1986; ALMEIDA  
582 *et al.*, 2011).

## 583 4 MATERIAL E MÉTODOS

584

### 585 4.1. Declaração ética

586

587 O projeto foi conduzido de acordo com os procedimentos e princípios éticos na experimentação  
588 animal aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Santa  
589 Cruz (UESC), Bahia, Brasil, sob o número de protocolo 038/22.

### 590 4.2. Local, animais e condições experimentais

591

592 O ensaio biológico foi realizado no Setor de Piscicultura da Estação Experimental da Fazenda  
593 Almada, localizada na zona rural no município de Ilhéus, pertencente a Universidade Estadual  
594 de Santa Cruz, Ilhéus, Brasil.

595 Foram adquiridos inicial 1.000 alevinos de tambaqui de um laboratório comercial (Fazenda  
596 Canta Galo) localizado no município de Ibirataia/BA, com peso inicial médio de 0,5 g. Os  
597 peixes foram aclimatados e mantidos em dois viveiros escavados (400 m<sup>3</sup>) com sistema  
598 independente de abastecimento e drenagem de água, até obterem o peso esperado para o início  
599 do ensaio biológico. O arraçoamento foi feito diariamente com ração comercial para peixe  
600 onívoro (32% proteína de bruta) de forma manual, até a saciedade aparente dos peixes.

601 Após uma triagem do lote inicial, foram selecionados 180 espécimes com peso médio inicial  
602 (467,21±30,46 g) e comprimento (28,4±1,69 cm). Os tambaquis foram distribuídos em 15  
603 tanques suspensos circulares com capacidade de 4 m<sup>3</sup> (n= 12 peixes por cada unidade  
604 experimental), equipados com abastecimento e drenagem individualizados, acoplados a um  
605 sistema de recirculação de água com uso de filtro biológico. Também eram providos de aeração  
606 constante por meio de difusores radiais, com a finalidade de permitir maior disponibilidade de  
607 oxigênio para os animais. Foram realizadas diariamente descargas parciais de efluentes no  
608 biofiltro com aproximadamente 50 L, para eliminação do material decantado e posterior  
609 reposição do volume eliminado.

610 Os parâmetros de qualidade da água foram medidos duas vezes por semana. O oxigênio  
611 dissolvido (4,92 ± 1,03 mg O<sub>2</sub>/L) e a temperatura (27,9 ± 2,91°C) foram mensurados com o  
612 auxílio de sonda multiparâmetro (YSI Professional Plus). As análises de amônia total (< 0,1  
613 ppm mg/L N-NH<sub>3</sub>) e pH (7,1 ± 0,28) foram realizadas com kit colorimétrico comercial (Alcon  
614 Ltda). Os parâmetros físico-químicos da água mostraram-se estáveis para espécie durante o  
615 experimento (LIEBL *et al.* 2021; MARCHÃO *et al.*,2020; 2022).

616 O delineamento experimental inteiramente casualizado consistiu em cinco níveis de lisina  
617 (1,30; 1,45; 1,62; 1,72 e 1,86%) e três repetições (tanques) por tratamento, totalizando 15  
618 unidades experimentais. Cada tanque suspenso representou uma unidade experimental que foi  
619 numerada e sorteada.

#### 620 **4.3. Preparação das dietas e manejo alimentar**

621

622 As dietas experimentais foram formuladas com os mesmos ingredientes e poucas variações nos  
623 seus teores para serem isoproteicas (aproximadamente de 28% PB) e isolipídicas (6,58% EE)  
624 utilizando o programa SuperCrac. As dietas experimentais foram formuladas com diferentes  
625 níveis de inclusão de L-lisina (0,0; 0,16; 0,32; 0,49 e 0,65 g/kg) para constituírem as  
626 concentrações de 1,30; 1,45; 1,62; 1,72 e 1,86% de lisina total pelo método de suplementação  
627 com aminoácidos ideal (Tabela 1) e o perfil de aminoácidos das dietas experimentais estão  
628 apresentados na Tabela 2.

629

630

631 Tabela 1. Formulação e composição química das dietas experimentais com níveis crescentes  
 632 de lisina para tambaqui (*Colossoma macropomum*)

Ingrediente	Níveis de lisina na dieta (%)				
	1,30	1,45	1,62	1,72	1,86
Farinha de carne e ossos 45%	24,34	24,37	24,40	24,43	24,47
Farinha de penas 58%	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Farelo de soja 45%	16,03	15,60	15,17	14,74	14,31
Farelo de milho	42,43	42,66	42,89	43,12	43,35
Farelo de sorgo baixo tanino	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Sal comum	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
L-lisina HCL <sup>a</sup> (99,2%)	0,00	0,16	0,32	0,49	0,65
L- treonina <sup>a</sup> (80%)	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08
DL- metionina <sup>a</sup> (99,1%)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Premix <sup>b</sup>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Antifúngico	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição química analisada (% matéria seca)					
Proteína bruta (%)	28,49	28,31	28,48	28,23	28,02
Energia bruta (kcal kg <sup>-1</sup> )	3845	3842	3781	3800	3757
Extrato etéreo (%)	6,39	6,38	6,78	6,78	6,59
Matéria mineral (%)	11,07	11,72	11,28	11,49	10,76
Matéria seca (%)	92,73	92,88	92,11	93,73	92,72

633 <sup>a</sup>L-lisina, L-treonina, DL-metionina (CJ Bio, São Paulo, SP, Brasil).

634 <sup>b</sup>Premix de vitaminas e minerais (composição química analisada/ kg do produto): sulfato de cobalto = 0,0130 mg;  
 635 iodato de cálcio = 0,0210; vitamina B12 = 0,0375 mg; ácido fólico = 0,0520 mg; vitamina K3 = 0,0980 mg;  
 636 vitamina D3= 0,2050 UI; vitamina B6 = 0,3750 mg; biotina = 0,3750 mg; vitamina B1=0,3830 mg; vitamina B2=  
 637 0,4690 mg; pantotenato de cálcio= 0,5270 mg; sulfato de cobre= 0,6000 mg; niacina = 1.0210 mg; oxido de zinco=  
 638 1.5000 mg; sulfato de manganês= 2.4040 mg; vitamina E = 4.0000 mg; sulfato de ferro= 4.1670; availa SE=  
 639 5.0000; vitamina C= 8.5720 mg; diluente básico= 25.0130; cloreto de colina= 29.1670 mg.

640 Tabela 2. Perfil de aminoácidos essenciais e não essenciais analisados das dietas experimentais  
 641 para tambaqui (*C. macropomum*)

	Níveis de lisina na dieta (%)				
	1,30	1,45	1,62	1,72	1,86
Metionina	0,57	0,48	0,47	0,59	0,58
Lisina	1,30	1,45	1,62	1,72	1,86
Treonina	1,08	1,08	1,13	1,09	1,08
Arginina	1,73	1,78	1,79	1,74	1,73
Isoleucina	1,00	0,89	0,90	0,88	0,89
Leucina	2,05	2,07	2,09	2,02	2,02
Histidina	0,56	0,54	0,55	0,54	0,53
Valina	1,25	1,17	1,18	1,13	1,14
Fenilalanina	1,21	1,17	1,19	1,15	1,14
Cistina	0,34	0,41	0,41	0,42	0,44
Glicina	2,66	2,68	2,64	2,66	2,65
Serina	1,38	1,52	1,52	1,49	1,45
Prolina	2,23	2,22	2,22	2,20	2,21
Alanina	1,75	1,87	1,86	1,82	1,82
Ác. Glutâmico	3,78	3,81	3,79	3,72	3,59
Ác. Aspártico	1,98	2,06	1,96	1,93	1,75
Hidroxi-polina	0,93	0,94	0,91	0,94	0,95
Tirosina	0,76	0,73	0,74	0,71	0,71
Taurina	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

642

643 O processamento das dietas foi realizado na unidade da fábrica de ração na Universidade  
 644 Estadual de Santa Cruz (UESC). Os ingredientes vegetais foram moídos individualmente em  
 645 moinho tipo martelo e posteriormente misturados. Em seguida, os aminoácidos foram  
 646 adicionados a mistura das respectivas dietas. Após a homogeneização dos ingredientes, foram  
 647 extrusados com placa matriz de 4,37 mm de diâmetro para produção de péletes de 4 - 6 mm.  
 648 Após a produção das dietas, os péletes foram desidratados em estufa com circulação forçada de  
 649 ar em temperatura de 55 °C por 24 h e posteriormente resfriadas à temperatura ambiente.

650 Foi adotado o sistema automático de alimentação com instalação individualizada nos tanques  
 651 suspensos. Em cada unidade experimental, a quantidade de dieta fornecida semanalmente foi  
 652 ajustada em função da biomassa inicial estocada, sendo realizados ajustes semanais no  
 653 controlador dos alimentadores, com base no peso médio estimado dos peixes.

654 Posteriormente, foram realizadas correções semanais no controlador de tempo acoplado aos  
 655 alimentadores para manter a quantidade estabelecida por trato alimentar ao longo do ensaio  
 656 biológico. A quantidade das dietas fornecida foi ajustada semanalmente para a taxa de

657 arraçoamento de 2% da biomassa e o timer automático programado para fornecer três vezes ao  
658 dia (7h, 9h e 16h) durante 56 dias de alimentação.

659

#### 660 **4.4. Variáveis de desempenho produtivo**

661

662 As biometrias dos animais foram realizadas no início e ao final do ensaio biológico (56° dia),  
663 quando foram mantidos previamente em jejum por 16 horas. Para a realização deste manejo, os  
664 peixes, em todas as unidades experimentais, foram anestesiados em solução de eugenol (50  
665 mg/L), medidos e pesados individualmente. O consumo das dietas experimentais foi registrado  
666 para cada tanque e calculado a partir do excedente das dietas contidas nos silos dos  
667 alimentadores automáticos.

668 Com os dados biométricos associados ao consumo das dietas durante o ensaio, foram calculadas  
669 as variáveis de desempenho conforme as seguintes equações:

670 Ganho de peso = (peso médio final - peso médio inicial);

671 Consumo da dieta = (total de dieta consumida/ número de peixes por tanque);

672 Conversão alimentar = (consumo de dieta/ganho de peso);

673 Taxa de crescimento específico (% por dia) = ((ln peso médio final - ln peso médio inicial)  
674 /dias) x 100;

675 Taxa de eficiência proteica = (ganho de peso/ consumo de proteína da dieta);

676 Rendimento de carcaça (%) = (peso do peixe eviscerado/peso do peixe inteiro) x 100;

677 Sobrevivência (%) = (número de peixe final / número de peixe inicial) x 100;

678

#### 679 **4.5. Coleta das amostras para análises laboratoriais**

680

681 No início do ensaio biológico, foi feita uma amostragem aleatória de 10 espécimes para  
682 determinação da composição química dos peixes. Ao final (56° dia), dois peixes foram  
683 coletados aleatoriamente de cada unidade experimental (n= 6 peixes por tratamento) com  
684 auxílio de puçá. Os espécimes amostrados foram contidos com pano úmido (RANZANI-  
685 PAIVA *et al.* 2013), e em seguida, direcionados para coleta individual de 2 ml de sangue através  
686 da punção venocaudal utilizando seringa estéril. As amostras de sangue foram transferidas para  
687 tubos com EDTA (1ª alíquota) e a 2ª alíquota acondicionada em tubos com ativador de coágulo,  
688 ambas mantidas refrigeradas em isopor térmico.

689 Em seguida, os mesmos espécimes foram eutanasiados com dose letal de solução em eugenol  
690 (300 mg/L) e feito abertura na cavidade abdominal para coleta dos tecidos (fígado, vísceras e  
691 gordura abdominal) para quantificação dos índices somáticos. As amostras de fígado e intestino  
692 foram coletadas e congeladas para posterior análise enzimática hepática e digestiva.

693 Posteriormente, foi realizada retirada dos filés de ambos lados dos espécimes, pesados, e em  
694 seguida, desidratados em estufa com circulação forçada a 55°C por 48h para posterior avaliação  
695 da composição centesimal. Os índices de relação somática e rendimento de filé foram  
696 calculados conforme apresentado abaixo:

697 Índice hepatossomático (IHS %) = (peso do fígado (g) / peso final (g)) X 100;

698 Índice viscerossomático (IVS %) = (peso das vísceras (g) / peso final (g)) X 100;

699 Índice lipossomático (ILS %) = (peso da gordura visceral (g) / peso final (g)) X 100;

700 Rendimento de filé (%) = (peso do filé / peso do peixe inteiro) x 100;

701

#### 702 **4.6. Análise química da dieta experimental e filé**

703

704 As dietas experimentais e amostras de filés foram analisadas quanto a composição química  
705 (proteína bruta, aminoácidos, energia bruta, matéria seca, matéria mineral e lipídeos). A energia  
706 bruta foi determinada por uma bomba calorimétrica (IKA C-200) no Laboratório de Nutrição  
707 de Organismos Aquáticos (AQUANUT). A matéria seca foi determinada por secagem em  
708 estufa a 105°C e o teor de matéria mineral obtida pela combustão de amostras secas em uma  
709 mufla a 550°C por 4 h segundo procedimentos descritos por Detmann *et al.* (2012) no  
710 Laboratório de Nutrição Animal (UESC).

711 A quantificação dos teores de aminoácidos totais foram realizadas por cromatografia líquida de  
712 alta eficiência (HPLC), a proteína bruta conforme o (método n° 2021.045 - Compêndio  
713 Brasileiro de Alimentação Animal, 2023) e o extrato etéreo por hidrólise ácida (AOCS, 2017)  
714 pela empresa CBO Análises Laboratoriais Ltda. (Valinhos, SP, Brasil).

#### 4.7. Análises hematológicas e plasmáticas

715  
716

717 Para avaliação dos parâmetros hematológicos, as amostras sanguíneas foram processadas no  
718 Laboratório de Análises Clínicas do Hospital Veterinário (UESC). O hematócrito foi  
719 determinado pela técnica do microhematócrito, onde tubos capilares heparizados foram  
720 preenchidos com sangue até 2/3 do volume total e centrifugados a 12.000 rpm por 5 minutos,  
721 por meio da microcentrífuga (Micro Spin®). Para contagem de eritrócitos, amostras de sangue  
722 foram diluídas em solução de Natt-Herrick (1:200) e contados em uma câmara de Neubauer  
723 ( $1 \times 10^6/\mu\text{l}$ ) usando microscópio com ampliação de 400X (Primo Star, ZEISS). Para análises  
724 bioquímicas, o plasma obtido foi usado para determinação de glicose, colesterol total,  
725 triglicerídeos e proteína total.

#### 4.8. Análise da atividade enzimática hepática e digestiva

726  
727

728 As análises da atividade hepáticas e atividade de enzimas digestivas foram realizadas no  
729 Laboratório de Aquicultura da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF).  
730 Para a determinação da enzima alanina aminotransferase hepática (ALT), aproximadamente  
731 100 mg do fígado foram homogeneizados em uma solução tampão (10 mM fosfato/20 mM tris,  
732 pH 7,0 a 4°C) usando um homogeneizador mecânico (Marconi® MA039). A determinação da  
733 atividade enzimática da ALT foi utilizada kit específico (Labtest®), e as medidas foram feitas  
734 com espectrofotômetro (Bel Spectro S-2000) com comprimento de onda de 340 nm.

735 O glicogênio hepático foi quantificado conforme descrito por Bidinotto *et al.* (1997). Para  
736 determinar o glicogênio hepático, 1 ml de KOH (6N) foi adicionado a 50 mg de fígado e  
737 incubado por 2 min a 100°C. Em seguida, 250  $\mu\text{l}$  de etanol e 100  $\mu\text{l}$  de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  10% foram  
738 adicionados a 100  $\mu\text{l}$  da amostra, que foi centrifugada a 2.000 g por 3 min. Posteriormente, o  
739 precipitado foi re-suspenso em 2 ml de água destilada. Em seguida, 100  $\mu\text{l}$  da amostra foram  
740 transferidos para uma cubeta, e 250  $\mu\text{l}$  de fenol e ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  foram usados para interromper  
741 a reação antes da leitura em espectrofotômetro (Bel Spectro S-2000) a 480 nm.

742 As proteínas totais hepática foram determinadas pelo método enzimático colorimétrico através  
743 de kit comercial (Bioclin®), e as medições foram realizadas com espectrofotômetro  
744 (MARCHÃO *et al.*, 2022).

745 Na determinação da atividade proteolítica alcalina foi utilizado tampão Tris/HCL 0.1M pH 8,5,  
746 tendo como substrato azocaseína 1% (SARATH *et al.*, 1989). Uma alíquota de extrato foi  
747 incubada por 30 minutos em 35°C e a reação interrompida com TCA 15%, em seguida

748 centrifugada à 1800 g por 10 minutos, medindo-se a absorvância a 420 nm. A tirosina foi  
749 utilizada como padrão para protease alcalina, sendo expressa em  $\mu\text{mol}$  de substrato  
750 hidrolisado/min/mg proteína (U/mg de proteína). Uma unidade de atividade enzimática é  
751 definida como a quantidade de enzima necessária para catalisar a formação de 1  $\mu\text{g}$  de  
752 tirosina/minuto.

753 A atividade amilohidrolítica foi estimada conforme método proposto por Bernfeld (1955)  
754 modificado. Em 1,0 ml de solução de amido (2%) em tampão tris 0,1M pH 7,0 contendo NaCl  
755 0,02M foi adicionado volume adequado de homogeneizado celular. Em seguida a mistura da  
756 reação foi incubada por 15 minutos a 37°C. Após decorrido o tempo de reação, adicionou-se  
757 100  $\mu\text{l}$  de PCA 6%, sendo a mistura da reação centrifugada a 3.000 g por 2 minutos. No  
758 sobrenadante foi estimada a concentração de glicose pelo método de Park-Johnson (1949).

#### 759 **4.9. Análise estatística**

760

761 Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk 5%) e homogeneidade de  
762 variância (Bartlett 5%). Os valores foram submetidos ao teste de Dunnet ( $p < 0,05$ ) para  
763 comparação dos tratamentos com o tratamento controle. O modelo de regressão quadrática foi  
764 utilizado para estimar o nível de lisina. Foram comparadas as diferenças entre os tratamentos  
765 pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) em relação ao perfil de aminoácidos totais. Todas as análises  
766 estatísticas foram realizadas com o software R.

767 **5 RESULTADOS**

768

769 Observou-se que durante o período experimental não houve mortalidade e sinais  
770 patológicos nos peixes em todos os tratamentos. Os níveis crescentes de lisina  
771 apresentaram efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para as variáveis de ganho de peso, conversão  
772 alimentar, taxa de crescimento específico e taxa de eficiência proteica (tabela 3),  
773 evidenciando positivamente o uso do aminoácido essencial no desempenho de  
774 crescimento do tambaqui.

775 Os níveis de lisina não afetaram ( $p > 0,05$ ) o consumo de dietas, e com isto, os peixes  
776 alimentados com a dieta contendo 1,62% de lisina apresentaram as melhores médias  
777 ganho de peso e também conversão alimentar. Neste estudo, não foram observadas  
778 diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) para as variáveis rendimento de carcaça, índice  
779 hepatossomático, índice viscerossomático, índice lipossomático e rendimento de filé dos  
780 peixes alimentados com níveis crescentes de lisina.

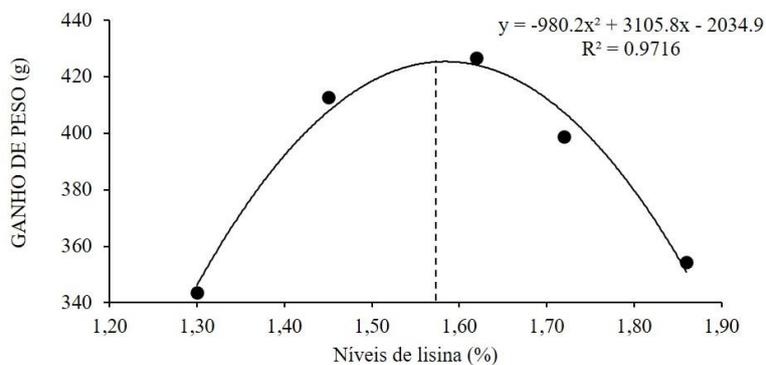
781 Tabela 3. Valores médios do desempenho zootécnico de tambaqui (*C. macropomum*)  
782 alimentado com dietas contendo diferentes níveis de lisina por 56 dias

Variável	Níveis de lisina (%)					CV <sup>1</sup> (%)	p- valor
	1,30	1,45	1,62	1,72	1,86		
Peso inicial (g)	455,17	472,05	469,64	462,06	477,14	7,44	0,940
Peso final (g)	798,72	884,82	896,19	860,95	831,60	7,28	0,360
Ganho de peso (g)*	343,55	412,76	426,55	398,90	354,46	12,41	0,0271
Consumo da dieta (g)	564,64	595,52	594,88	513,55	548,18	17,04	0,814
Conversão alimentar*	1,66	1,44	1,39	1,29	1,53	11,62	0,0437
Taxa de crescimento específico*	1,00	1,12	1,15	1,11	0,99	10,28	0,0431
Taxa de eficiência proteica (%) *	2,14	2,46	2,54	2,75	2,37	11,28	0,030
Rendimento de carcaça (%)	95,01	94,77	94,81	94,92	94,87	0,51	0,919
Rendimento de filé (%)	35,13	35,26	35,99	37,00	34,42	5,12	0,172
Índice hepatossomático (%)	1,47	1,55	1,59	1,50	1,34	10,15	0,352
Índice viscerossomático (%)	3,52	3,75	3,61	3,52	3,86	4,92	0,105
Índice lipossomático (%)	2,49	3,09	2,56	2,74	2,82	22,70	0,492
Sobrevivência (%)	100	100	100	100	100	-	1,000

783 <sup>1</sup>Coefficiente de variação. \*Efeito quadrático;784 TCE: taxa de crescimento específico é expresso em % por dia; ganho de peso ( $y = -980.2x^2 + 3105.8x -$ 785  $2034.9$ ;  $R^2 = 0.977$ ); taxa de crescimento específico ( $y = -2.02743x^2 + 6.39117x - 3.88093$ ;  $R^2 = 0.99$ );786 conversão alimentar ( $y = 3.0074x^2 - 9.3168x + 9.3168$ ;  $R^2 = 0.87$ ); taxa de eficiência proteica ( $y = -33.675x^2$ 787  $+ 107.023x - 70.044$ ;  $R^2 = 0.965$ )

788 Conforme o modelo de regressão quadrática, os valores de exigência de lisina na dieta  
 789 para tambaqui estimado a partir do ganho de peso, conversão alimentar, taxa de  
 790 crescimento específico e taxa de eficiência proteica foram de 1,58; 1,63; 1,58 e 1,64% de  
 791 lisina, respectivamente (Figuras 1, 2, 3 e 4).

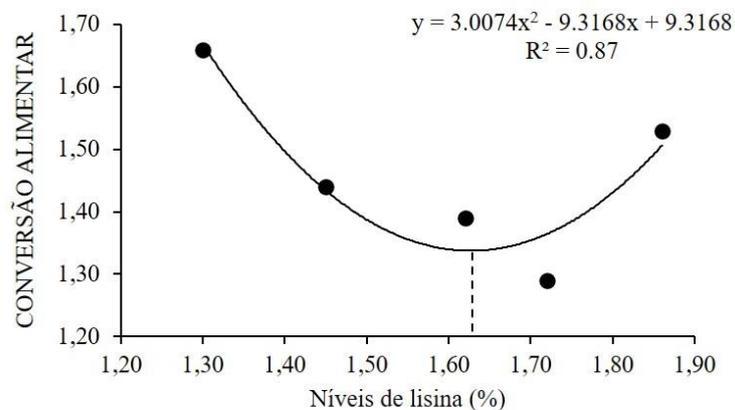
792



793

794 Figura 1. Efeito do nível de lisina na dieta sobre o ganho de peso do tambaqui (*C.*  
 795 *macropomum*) acima de 500g.

796

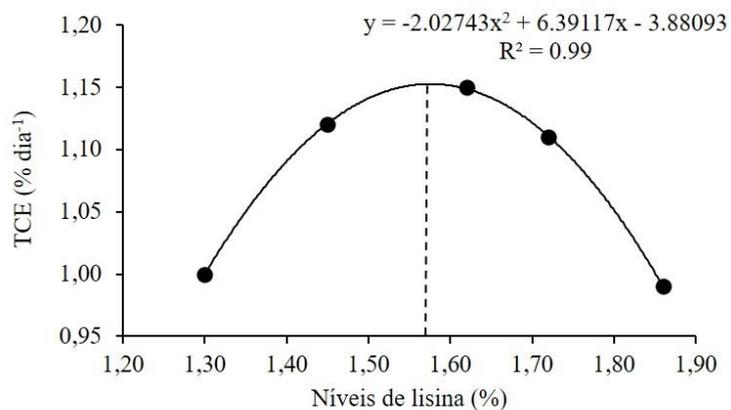


797

798 Figura 2. Efeito dos níveis de lisina sobre a conversão alimentar do tambaqui (*C.*  
 799 *macropomum*) acima de 500g.

800

801

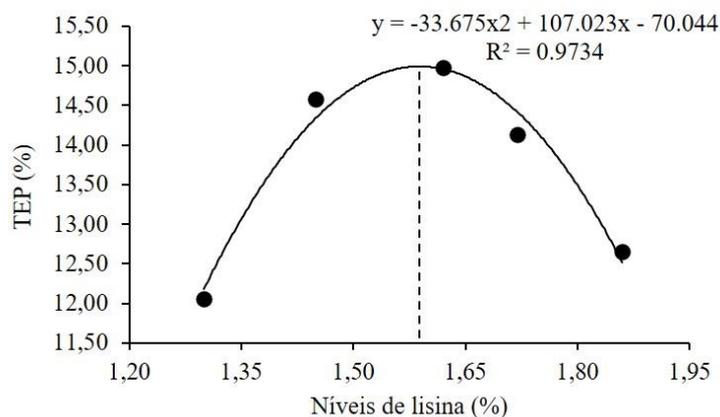


802

803 Figura 3. Efeito dos níveis de lisina sobre taxa de crescimento específico (% dia<sup>-1</sup>) do  
 804 tambaqui (*C. macropomum*) acima de 500g.

805

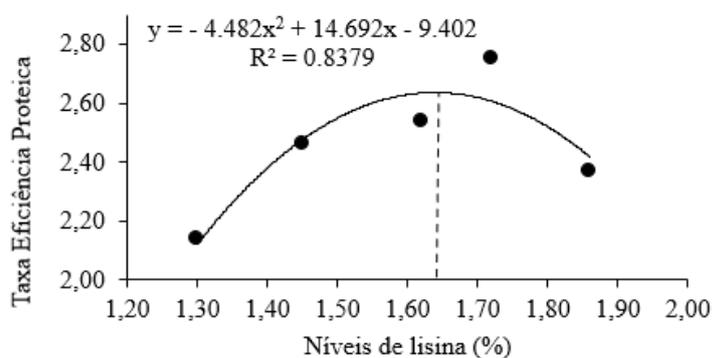
806



807

808

809



810

811 Figura 4. Efeito dos níveis de lisina sobre taxa de eficiência proteica do tambaqui (*C.*  
 812 *macropomum*) acima de 500g.

813 Em relação a composição química do filé de tambaqui não foram alteradas entre os  
814 tratamentos, exceto a proteína bruta ( $p < 0,05$ ) com inclusão de lisina na dieta (tabela 4).

815 Tabela 4. Valores médios da composição química analisada (% matéria seca) do filé do  
816 tambaqui (*C. macropomum*) alimentado com dieta contendo níveis crescentes de lisina

Composição química	Níveis de lisina na dieta (%)						CV <sup>1</sup> (%)	p-valor
	1,30	1,45	1,62	1,72	1,86			
Proteína bruta (%)	74,44	68,23	76,79	71,81	74,57	2,25	<0,001	
Energia bruta (kcal kg <sup>-1</sup> )	4687	4656	4522	4633	4640	6,47	0,968	
Extrato etéreo (%)	5,55	5,49	5,75	6,62	7,86	15,41	0,058	
Matéria seca (%)	21,31	21,20	20,86	21,32	21,38	4,88	0,910	
Matéria mineral (%)	4,49	4,31	4,90	4,37	5,14	15,24	0,245	

817 <sup>1</sup>Coeficiente de variação.

818

819 Os valores médios dos parâmetros hematológicos e bioquímicos do tambaqui alimentados  
820 com inclusão de lisina na dieta (tabela 5) não foram alterados entre os tratamentos  
821 testados ( $p > 0,05$ ).

822 Tabela 5. Valores médios dos parâmetros hematológicos e bioquímicos do tambaqui (*C.*  
823 *macropomum*) alimentados com dietas contendo diferentes níveis de lisina por 56 dias

Parâmetro	Níveis de lisina na dieta (%)						CV <sup>1</sup> (%)	p-valor
	1,30	1,45	1,62	1,72	1,86			
Hematócrito (%)	36,33	39,00	35,67	38,00	36,00	5,63	0,296	
Eritrócitos (x10 <sup>6</sup> /μl)	1,49	1,31	1,25	1,36	1,52	15,70	0,537	
Glicose (mg dL <sup>-1</sup> )	127,83	115,83	139,33	105,00	116,33	26,66	0,739	
Proteína total (g dL <sup>-1</sup> )	2,66	2,94	2,86	3,17	2,83	13,28	0,598	
Triglicerídeos (mg dL <sup>-1</sup> )	230,33	284,50	232,00	289,33	319,83	26,91	0,522	
Colesterol (mg dL <sup>-1</sup> )	106,83	107,17	103,00	113,33	106,67	9,14	0,783	

824 <sup>1</sup>Coeficiente de variação.

825

826 Observa-se que a atividade de ALT no fígado e a enzima digestiva protease alcalina  
827 apresentaram regressão quadrática indicando redução significativa na atividade  
828 enzimática em relação ao aumento dos níveis de lisina na dieta ( $p < 0,05$ ). A proteína total,  
829 o glicogênio hepático e amilase não foram alteradas pelos tratamentos com lisina ( $p > 0,05$ )  
830 (tabela 6).

831 Tabela 6. Valores médios da atividade enzimática hepática e digestiva do tambaqui (*C.*  
832 *macropomum*) alimentado com dietas contendo níveis crescentes de lisina por 56 dias

Variáveis	Níveis de lisina na dieta (%)					Regressão			
	1,30	1,45	1,62	1,72	1,86	EPM	Linear	Quadrática	R <sup>2</sup>
<i>Fígado</i>									
ALT <sup>a</sup>	35,40	38,83	40,30	36,46	17,55	2,65	0,011	0,006	0,95
Proteínas totais	1,34	1,10	1,23	1,03	1,16	0,06	0,384	0,473	-
Glicogênio	1,33	1,66	0,97	1,07	0,99	0,10	0,053	0,955	-
<i>Intestino</i>									
Amilase	2,60	2,16	2,58	2,46	2,78	0,13	0,524	0,425	-
Protease alcalina <sup>a</sup>	3,79	4,86	4,31	2,92	2,87	0,21	<0,001	<0,001	0,70

833 <sup>a</sup> Efeito quadrático. EPM (erro padrão médio). Proteínas totais são expressos em g/dl<sup>-1</sup>; Glicogênio é  
834 expresso em N mol de glicose/g tecido<sup>-1</sup>; ALT (alanina aminotransferase) é expressa em U mg proteína<sup>-1</sup>.  
835 Amilase e protease alcalina inespecífica são expressos em U mg de proteína<sup>-1</sup>. ALT ( $y = -158.63x^2 + 466.37x$   
836  $- 300.93$ ); Protease alcalina ( $y = -9.7363x^2 + 27.665x - 15.301$ ).  
837

838 Em relação ao perfil dos aminoácidos no filé de tambaqui alimentado com níveis  
839 crescentes de lisina na dieta foram observadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para os  
840 tratamentos (tabela 7). Além disso, observou-se que não houve diferença significativa  
841 ( $p > 0,05$ ) dos demais aminoácidos em peixes alimentados com 1,62% de lisina, exceto  
842 para metionina e valina. Os filés provenientes de peixes alimentados com 1,62% de lisina  
843 apresentaram valores de aminoácidos superiores quando comparados com peixes  
844 alimentados outros níveis de lisina na dieta.

845 Tabela 7. Perfil de aminoácidos essenciais e não essenciais do filé de tambaqui  
846 alimentados com níveis crescentes de lisina

Perfil de aminoácidos (%)	Níveis de lisina (%)						p-valor
	Inicial	1,30	1,45	1,62	1,72	1,86	
Metionina	2,21	2,00 <sup>bc</sup>	1,75 <sup>d</sup>	2,04 <sup>b</sup>	1,96 <sup>c</sup>	2,29 <sup>a</sup>	<0,001
Lisina	7,15	5,63 <sup>d</sup>	5,03 <sup>e</sup>	7,36 <sup>a</sup>	6,06 <sup>c</sup>	6,93 <sup>b</sup>	<0,001
Treonina	3,55	2,67 <sup>d</sup>	2,46 <sup>e</sup>	3,41 <sup>a</sup>	2,79 <sup>c</sup>	3,30 <sup>b</sup>	<0,001
Arginina	4,30	2,95 <sup>d</sup>	2,60 <sup>e</sup>	4,02 <sup>a</sup>	3,09 <sup>c</sup>	3,96 <sup>b</sup>	<0,001
Isoleucina	3,09	2,69 <sup>d</sup>	2,48 <sup>e</sup>	3,11 <sup>a</sup>	2,75 <sup>c</sup>	3,03 <sup>b</sup>	<0,001
Leucina	5,78	4,56 <sup>d</sup>	4,21 <sup>e</sup>	5,65 <sup>a</sup>	4,68 <sup>c</sup>	5,52 <sup>b</sup>	<0,001
Histidina	1,73	1,43 <sup>d</sup>	1,34 <sup>e</sup>	1,90 <sup>a</sup>	1,59 <sup>c</sup>	1,75 <sup>b</sup>	<0,001
Valina	3,15	2,82 <sup>d</sup>	2,58 <sup>e</sup>	3,20 <sup>b</sup>	2,92 <sup>c</sup>	3,25 <sup>a</sup>	<0,001
Fenilalanina	3,03	2,39 <sup>c</sup>	2,22 <sup>d</sup>	2,98 <sup>a</sup>	2,48 <sup>b</sup>	2,94 <sup>a</sup>	<0,001
Cistina	0,65	0,55 <sup>c</sup>	0,50 <sup>d</sup>	0,95 <sup>a</sup>	0,55 <sup>c</sup>	0,65 <sup>b</sup>	<0,001
Glicina	4,13	2,94 <sup>b</sup>	2,54 <sup>c</sup>	3,44 <sup>a</sup>	2,90 <sup>b</sup>	3,47 <sup>a</sup>	<0,001
Serina	2,96	2,23 <sup>c</sup>	2,05 <sup>d</sup>	2,86 <sup>a</sup>	2,35 <sup>b</sup>	2,83 <sup>a</sup>	<0,001
Prolina	2,68	2,11 <sup>d</sup>	1,86 <sup>e</sup>	2,51 <sup>a</sup>	2,16 <sup>c</sup>	2,42 <sup>b</sup>	<0,001
Alanina	4,56	4,07 <sup>c</sup>	3,74 <sup>d</sup>	4,71 <sup>a</sup>	4,07 <sup>c</sup>	4,50 <sup>b</sup>	<0,001
Ác. Glutâmico	11,24	9,10 <sup>d</sup>	8,34 <sup>e</sup>	11,04 <sup>a</sup>	9,26 <sup>c</sup>	10,73 <sup>b</sup>	<0,001

Perfil de aminoácidos (%)	Níveis de lisina (%)						p-valor
	Inicial	1,30	1,45	1,62	1,72	1,86	
Ác. Aspártico	7,21	5,69 <sup>d</sup>	5,07 <sup>e</sup>	7,23 <sup>a</sup>	5,90 <sup>c</sup>	7,10 <sup>b</sup>	<0,001
Hidroxipolina	0,53	<0,01	0,22	<0,01	<0,01	0,36	-
Tirosina	2,37	1,88 <sup>d</sup>	1,70 <sup>e</sup>	2,40 <sup>a</sup>	2,00 <sup>c</sup>	2,26 <sup>b</sup>	<0,001
Taurina	0,62	0,73 <sup>b</sup>	0,67 <sup>c</sup>	0,88 <sup>a</sup>	0,73 <sup>b</sup>	0,87 <sup>a</sup>	<0,001

847 Valores médios com diferentes letras na mesma linha indicam diferenças significativas (teste Tukey  
848 p<0,05)

## 849 **6 DISCUSSÃO**

850

851 O crescimento do tambaqui pode ser atribuído ao nível de lisina e ao equilíbrio entre os  
852 aminoácidos. Além disso, a lisina corresponde ao aminoácido limitante indispensável na  
853 dieta considerando melhores respostas quando esses animais foram alimentados com  
854 dietas suplementadas com esse aminoácido essencial (ABIMORAD *et al.*, 2010;  
855 MARCHÃO *et al.*, 2020; TEIXEIRA *et al.*, 2020). O efeito da lisina na estrutura muscular  
856 bem como o equilíbrio da proteína contribui para aproveitamento dos aminoácidos. Além  
857 disso, considera-se que o tambaqui utilizou bem o aminoácido como pode ser observado  
858 pelas médias de taxa de eficiência proteica, ganho de peso e taxa de crescimento  
859 específico.

860 A condição experimental demonstrou-se adequada sobretudo pela qualidade da água e o  
861 manejo alimentar, que apresentaram adequados pois possibilitaram a otimização do  
862 crescimento dos peixes sendo aspectos considerados importantes para o cultivo da espécie  
863 em condições de confinamento.

864 Estudos evidenciaram efeitos positivos com o aumento de lisina na dieta favorecendo o  
865 desempenho do crescimento observado no tambaqui (FIRMO *et al.*, 2008; MARCHÃO  
866 *et al.*, 2020; TEIXEIRA *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2021), na tilápia (MICHELATO *et*  
867 *al.*, 2016; HUA *et al.*, 2019; ROMANELI *et al.*, 2021) considerando que a lisina é um  
868 aminoácido limitante na dieta para o desempenho dos animais quando alimentados com  
869 dietas contendo baixos teores de proteína.

870 Dessa forma, os resultados mencionados indicam que o uso de lisina na dieta influencia  
871 no desempenho independente da espécie. A suplementação de lisina melhorou de maneira  
872 significativa o desempenho do crescimento conforme os parâmetros que apresentaram  
873 significância indicando que a inclusão do aminoácido na formulação é crucial como  
874 forma de manter as funções biológicas relacionada ao crescimento. Evidenciou-se que  
875 dietas com teor de aminoácidos insuficientes causaram alterações que comprometeram o  
876 desenvolvimento corporal dos peixes, sugerindo que os animais não tiveram a capacidade  
877 de sintetizar a lisina.

878 A limitação da dieta em um aminoácido essencial é capaz de comprometer o crescimento  
879 além da eficiência alimentar (MARCHÃO *et al.*, 2022). Dessa forma, o desequilíbrio em  
880 aminoácidos essenciais, seja por falta ou excesso, implica negativamente no desempenho

881 evidencia pela redução no peso, dificulta o uso da fração nitrogenada, composição  
882 química, rendimento de carcaça e aumento na conversão alimentar (FURUYA *et al.*,  
883 2005; BICUDO *et al.*, 2009; GONÇALVES *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2018;  
884 MARCHÃO *et al.*, 2020; TEIXEIRA *et al.*, 2020). O excesso de aminoácido que não são  
885 utilizados para síntese de proteínas devido a desbalanceamento pode ser convertido em  
886 energia com o processo de desaminação pela liberação de esqueleto carbônico (COWEY,  
887 1994; WILSON, 2002).

888 Por outro lado, o consumo de dieta não sofreu influência com o incremento de lisina isso  
889 pode ter ocorrido devido as dietas apresentarem valores de proteína e energia equivalentes  
890 entre as dietas. Trabalhos relatam que peixes alimentados com dietas suplementadas com  
891 lisina não apresentaram influência no consumo de ração (ABIMORAD *et al.*, 2010;  
892 MICHELATO *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018).

893 O mesmo foi observado por Marchão *et al.* (2020) com tambaqui (22,99 g) quando  
894 avaliaram a inclusão de lisina que não diferiu no consumo da dieta, razão pelo qual se  
895 assemelharam em consumo de energia (isoenergéticas) e nutrientes, o que foi observado  
896 em relação as formulações das dietas deste trabalho que mantiveram valores de energia  
897 aproximado entre os tratamentos.

898 Em parte, os dados foram relatados para o tambaqui na fase de crescimento juvenil onde  
899 autores relatam de 1,61% de lisina para tambaqui com 1,67 g pelo ensaio dose-resposta  
900 (TEIXEIRA *et al.*, 2020); a exigência de lisina para juvenil de tambaqui (22,99 g) pela  
901 técnica de diluição foi de 1,58% proporcionou em deposição de proteína corporal  
902 (MARCHÃO *et al.*, 2020); o nível de lisina foi de 1,73% para tambaqui com peso  
903 corporal de 0,34 g proporcionando maior ganho de peso e deposição de proteína corporal  
904 (SILVA *et al.*, 2018); em um trabalho realizado por Silva Liebl *et al.* (2022), os autores  
905 estimaram em 1,54 - 1,56% o nível ideal de lisina para juvenis de tambaqui de 33,54g  
906 de lisina para o ganho de peso e a taxa de eficiência proteica.

907 O uso de lisina em níveis abaixo ou acima da exigência para o tambaqui resultaram em  
908 baixo crescimento, e também pode ser observado pela redução na formação de tecido  
909 magro. Enquanto que em níveis superiores de aminoácidos podem ter sido desviados para  
910 demais vias metabólicas energéticas gerando deposição de gordura visceral o que não foi  
911 observado no estudo.

912 Estudos apresentaram ganho de peso reduzido e aumento de conversão alimentar devido

913 ao desequilíbrio limitando o desempenho da espécie (GONÇALVES *et al.*, 2009; SILVA  
914 *et al.*, 2018; TEIXEIRA *et al.*, 2020; MARCHÃO *et al.*, 2022). No estudo desenvolvido  
915 por Bomfim *et al.* (2010) os autores observaram piora no ganho de peso com elevados  
916 níveis de lisina nas dietas comparado com o do estudo, relatando que apesar do ocorrido  
917 houve a melhoria na deposição proteica corporal e eficiência de utilização da fração  
918 nitrogenada da ração.

919 O resultado obtido para conversão alimentar deve-se possivelmente ao equilíbrio dos  
920 aminoácidos que promoveram maior crescimento, com um nível de 1,6% de lisina embora  
921 não tenha ocorrido efeito significativo no consumo da dieta ( $p>0,05$ ) com o aumento do  
922 nível de lisina (MARCHÃO *et al.*, 2020). De acordo com Silva *et al.* (2018) o nível de  
923 energia utilizado em dietas pode influenciar na exigência nutricional para uma mesma  
924 espécie, pois afeta diretamente o consumo de ração.

925 A taxa de crescimento específico e o ganho de peso apresentaram a mesma estimativa de  
926 lisina correspondendo 1,58% de lisina ressaltando que o aumento de lisina na dieta  
927 contribuiu para o aumento do peso corporal do tambaqui. De acordo com Abimorad *et al.*  
928 (2010) é inviável utilizar lisina além do exigido devido ao custo e conseqüentemente uma  
929 redução de peso.

930 Trabalho de Michelato *et al.* (2016) com tilápia de 270 a 570 g alimentados com níveis  
931 graduais de lisina determinaram 1,46 % de lisina na dieta; Furuya *et al.* (2013) a exigência  
932 de lisina para tilápia com 87 a 226 g foi estimado em 1,31% de lisina digestível para  
933 máximo ganho de peso; pelo método de deleção foi estimado o perfil ideal de  
934 aminoácidos em tilápia com peso entre 150 e 200 g em 5,87 de teor de proteína da dieta  
935 (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

936 No estudo realizado por Furuya *et al.* (2013) com tilápia de 87 a 226 g ao avaliando a  
937 suplementação de lisina (de 0,88 a 1,83%) também foi confirmado que os níveis de lisina  
938 não influenciaram no índice hepatossomático e o rendimento de carcaça, porém, o  
939 rendimento de filé aumentou de forma linear aos níveis crescentes de lisina o que não foi  
940 possível observar no presente trabalho.

941 O índice hepatossomático serve para oferecer informações a respeito da condição de  
942 saúde do peixe (MIZANUR *et al.*, 2014) que por sua vez tem sido aplicado em trabalhos  
943 a respeito da exigência nutricional em peixes (MARCHÃO *et al.*, 2020; TEIXEIRA *et al.*,

944 2020; FURUYA *et al.*, 2013). Os resultados obtidos com os níveis de lisina não  
945 influenciaram o índice hepatossomatico e rendimento de carcaça

946 De acordo com Furuya *et al.* (2013) a determinação da exigência de lisina é primordial  
947 para elaboração de dietas a fim de proporcionar o balanceamento adequado de  
948 aminoácidos como forma de maximizar o crescimento e aumento no rendimento de filé.  
949 Na visão de Michelato *et al.* (2016) a necessidade de lisina para otimizar o rendimento  
950 do filé é maior em relação ao ganho de peso, razão pelo qual a lisina propicia o  
951 desenvolvimento muscular.

952 O fornecimento da suplementação por aminoácido essencial para atender exigência  
953 nutricional também favorece no anabolismo para síntese proteica e direcionar para que  
954 haja aumento na produção de carne em peixes (MICHELATO *et al.*, 2016). O rendimento  
955 de filé para tilápia no estudo realizado por Michelato *et al.* (2016) foi de 1,46% de lisina  
956 (5,8% de proteína bruta).

957 Alguns fatores contribuem para que haja uma variação na comparação entre os trabalhos  
958 para estimar a exigência nutricional dos peixes, dentre eles: espécie, tamanho do peixe,  
959 tipo de dieta, concentração de proteína e energia, frequência alimentar, quantidade de  
960 alimento, condições ambientais, densidade de estocagem e duração do experimento  
961 (FURUYA *et al.*, 2006; TAKISHITA *et al.*, 2009; ABIMORAD *et al.*, 2010; BUZOLLO  
962 *et al.*, 2019; HUA *et al.*, 2019), pois a demanda proteica varia de acordo com estágio de  
963 desenvolvimento do peixe (FIRMO *et al.*, 2018).

964 Diante do exposto, percebe-se a carência para determinar a necessidade de lisina para o  
965 tambaqui em fase de engorda, embora que os resultados encontrados neste trabalho  
966 podem elucidar para formulação de futuras dietas. Além disso, a espécie demonstrou  
967 crescimento satisfatório apesar de serem peixes maiores submetidos ao método dose-  
968 resposta, mas com condições ambientais e estruturais adequados que contribuíram para o  
969 crescimento.

970 Michelato *et al.* (2016) em estudo com tilápia (274,9 g) alimentados com lisina,  
971 observaram ausência do efeito de lisina na composição química do filé fato atribuído ao  
972 nível mínimo de lisina para atingir o nível necessário para ocorrer a síntese de carnitina.  
973 A lisina serve como precursor da carnitina agindo como transportador de ácidos graxos  
974 de cadeia longa dentro da mitocôndria para  $\beta$ -oxidação, além de diversos compostos  
975 nitrogenados provenientes de aminoácidos em que a carnitina será formada pela lisina

976 (COWEY, 1994; PRABU *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2021). De acordo com Liebl *et al.*  
977 (2022) a composição química do tecido muscular do tambaqui (33,54 g) referente a  
978 proteína bruta não foi afetado com o aumento da lisina na dieta, entretanto o valor proteico  
979 encontrado neste trabalho diferiu com estudos abordando a composição do filé.

980 Os estudos com aminoácidos essenciais, por sua vez, foram quantificados e determinados  
981 com base na composição do corpo inteiro (BICUDO *et al.*, 2009; KHAN *et al.*, 2019;  
982 TEXEIRA *et al.*, 2020).

983 Com base no perfil das concentrações de aminoácidos no filé favoreceu na construção do  
984 tecido muscular quando alimentados com 1,62% de lisina refletindo no ganho de peso do  
985 tambaqui, além disso a presença de aminoácidos totais pode contribuir para a qualidade  
986 do filé.

987 Por outro lado, observa-se o declínio dos aminoácidos na musculatura em níveis mais  
988 baixos e altos de lisina na dieta, pois impossibilitaram de manter o conteúdo de lisina no  
989 filé o que pode ter contribuído também para redução do desempenho de crescimento.

990 Dessa forma, a lisina é encontrada com maior teor no tecido muscular (SOUZA *et al.*,  
991 2021) e o conhecimento a respeito dos aminoácidos no músculo de peixes são alternativas  
992 para melhorar a qualidade da ração na aquicultura (KARI *et al.*, 2022).

993 Informações disponíveis sobre o perfil dos aminoácidos em peixes tem sido obtido por  
994 meio da análise de carcaça, corpo inteiro ou tecido muscular em fase juvenil (BICUDO  
995 *et al.*, 2009; ABIMORAD *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2018; KHAN *et al.*, 2019;  
996 TEIXEIRA *et al.*, 2020; MARCHÃO *et al.*, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2020), o que  
997 dificulta na comparação de dados limitados sobre o efeito da lisina em filés de tambaqui  
998 com este estudo, pois dados são insuficientes na literatura nessa fase de peso. Dessa  
999 forma, os resultados obtidos com filé podem contribuir para futuros estudos como  
1000 referência em formulações pois não há informações suficientes para referida espécie.

1001 As respostas metabólicas podem sofrer alterações por conta da alimentação e nutrientes  
1002 na dieta (MORANTE *et al.*, 2021) o que não foi observado em relação aos parâmetros  
1003 hematológicos e bioquímicos com o tambaqui, nesse sentido indica que os tambaquis se  
1004 encontravam com bom estado de saúde.

1005 A ferramenta hematológica tem sido utilizada na avaliação do estado nutricional e o  
1006 resultado encontrado corrobora com Teixeira *et al.* (2020) estudando com juvenis de

1007 tambaqui por meio do método dose-resposta. As alterações hematológicas no pacu foram  
1008 relatadas por Bicudo *et al.* (2009) causado pelo aumento da lisina influenciando nos  
1009 eritrócitos e hematócrito, porém os autores relatam que essa relação ainda continua  
1010 desconhecido. Por outro lado, os autores explicam que devido aos fatores estressores  
1011 podem provocar hemoconcentração ou hemodiluição de eritrócitos (NEVES *et al.*, 2020).

1012 Com base nos resultados obtidos dos valores de eritrócitos apresentaram-se dentro do  
1013 estabelecido onde a quantidade de eritrócitos destinado para o tambaqui com faixa de  
1014 peso (369,5 - 1,630 g) está entre 1,25 e 2,96 ( $10^6/\mu\text{l}$ ) e uma faixa de referência com valores  
1015 de 1,62 a 3,38 ( $10^6/\mu\text{l}$ ) (TAVARES - DIAS *et al.*, 2009).

1016 Para valores referentes ao hematócrito encontram-se dentro da faixa de amplitude (30,0 -  
1017 56,0 %) apontado por Tavares-Dias *et al.* (2009) para o tambaqui com peso análogo citado  
1018 anteriormente. Os eritrócitos e hematócritos estão relacionados a resposta primária dos  
1019 parâmetros das células vermelhas do sangue, transportadores de hemoglobina e também  
1020 no transporte de oxigênio (ARIDE *et al.*, 2021; TEIXEIRA *et al.*, 2020; MARCHÃO *et*  
1021 *al.*, 2022).

1022 Os valores encontrados de glicose plasmático para tambaqui neste trabalho corroboram  
1023 com dados descritos por Tavares-Dias e Sandrim *et al.* (1998) em *C. macropomum* com  
1024 variação de 500 a 700 g e amplitude de variação de glicose plasmático (70,0 - 177,0  
1025 mg/dl). Este parâmetro é importante fonte de energia pois promove o funcionamento para  
1026 os tecidos periféricos, todavia o excesso de glicose é estocado em forma de glicogênio ou  
1027 convertido em lipídio (POLAKOF *et al.*, 2012).

1028 Os triglicerídeos constituem-se na classe dos lipídios, estruturando as membranas  
1029 celulares na bicamada lipídica e com proteínas imersas além de desempenharam o  
1030 fornecimento de energia celular como sendo indicador do estado nutricional (TAMMAN  
1031 *et al.*, 2020; BUSSONS *et al.*, 2021).

1032 Verificou-se que a inclusão de lisina não apresentou alterações na amilase e glicogênio,  
1033 desta forma pode-se considerar que a similaridade das fontes de carboidratos entre as  
1034 dietas não causou prejuízo no desempenho do tambaqui visto que a espécie possui hábito  
1035 alimentar onívoro. Enquanto que o estoque de energia em forma de glicogênio hepático  
1036 não foi degradado para fornecer energia para funções vitais, visto que os níveis de glicose  
1037 plasmático mantiveram dentro da faixa para a espécie.

1038 A atividade da amilase é maior em peixes onívoros visto que consomem dietas com  
1039 grande quantidade de carboidratos e podendo aproveitar melhor o uso desse nutriente,  
1040 como forma energética (HIDALGO, *et al.*, 1999; BOSCOLO *et al.*, 2011). A presença de  
1041 cecos pilóricos promove o prolongamento do tempo de trânsito (OLSSON *et al.*, 2011)  
1042 dessa maneira pode-se aferir que a estrutura morfológica do trato gastrointestinal do  
1043 tambaqui favoreceu no transporte de nutrientes necessário para o crescimento.

1044 Por outro lado, a atividade de protease alcalina não específica e a enzima ALT mostraram  
1045 alterações em peixes alimentados com níveis mais baixos até 1,62% de lisina  
1046 apresentando maior atividade para ambas enzimas estudada. Em relação ao aumento da  
1047 atividade da ALT, este fato pode estar relacionado com o aumento do processo da  
1048 transaminação envolvendo a disponibilidade de outros aminoácidos essenciais na dieta  
1049 para ser usado para produção de energia. Enquanto que a protease alcalina pode ser  
1050 indicativo de que os peixes aproveitaram de forma eficiente os nutrientes da dieta  
1051 favorecendo no crescimento.

1052 Nesse caso, observou-se que a enzima hepática está ligada ao metabolismo dos  
1053 aminoácidos onde a ALT encontra-se presente no fígado, além de ser um biomarcador de  
1054 saúde caso o tecido hepático apresente-se doente ou danificado, provocando a liberação  
1055 da enzima na corrente sanguínea (MELO *et al.*, 2006; WU *et al.*, 2018). Para os peixes,  
1056 o papel da alanina serve de precursor glucogênico e substrato energético além de  
1057 equilibrar o nitrogênio (LI *et al.*, 2009). O aumento enzimático da ALT é indicativo de  
1058 maior necessidade para formação de glicose resultando na mobilização de reserva  
1059 energética (NEVES *et al.*, 2020). Este fato pode esclarecer a alteração ocorrido no  
1060 presente estudo, devido a disponibilidade de aminoácidos ocasionado pelo excesso de  
1061 hidrocarboneto dos aminoácidos para atender a demanda energética (MELO *et al.*, 2006;  
1062 WU *et al.*, 2018).

1063 A presença de aminoácidos no tubo digestivo é capaz de liberar hormônio  
1064 (colecistoquinina) estimulando por sua vez secreção de enzimas pancreáticas (UNGAR  
1065 *et al.*, 2009) que pode ter ocorrido com protease alcalina no intestino anterior com a  
1066 inclusão de lisina na composição da dieta.

1067 Na atividade de protease alcalina inespecífica aumentou até 1,45% de lisina, essa  
1068 alteração possivelmente deve-se ao melhor aproveitamento pela capacidade adaptação na  
1069 composição da dieta, e o tambaqui demonstra ampla plasticidade alimentar o que indica

1070 regulação na atividade enzimática. Essa plasticidade alimentar que o tabaqui apresenta  
1071 torna-se capaz de utilizar de forma eficiente diversas fontes de energia não proteicas em  
1072 sua composição de maneira a poupar proteína (GUIMARÃES; MARTINS, 2015).

1073

1074

**1075 7 CONCLUSÃO**

1076

1077 A exigência de lisina foi considerada em 1,58% para promover o melhor ganho de peso  
1078 de tambaquis acima de 500 g, o que corresponde 5,64% da proteína bruta da dieta.

1079 A suplementação com lisina indicou melhora no crescimento e contribuiu para  
1080 homeostase em resposta aos parâmetros hematológicos e metabólicos plasmáticos,  
1081 embora houve redução na atividade de protease alcalina em níveis elevados de lisina.

1082 Com base na composição do filé estimado pelo perfil de aminoácidos totais, o nível de  
1083 1,62% de lisina contribui para qualidade do filé do tambaqui.

## 1084 **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

1085

1086 Os dados analisados apresentaram que o nível de lisina necessário para promover  
1087 adequado desempenho de crescimento em ganho de peso foi estimado em 1,58% de lisina  
1088 permitindo que dietas elaboradas apresentem balanço ideal.

1089 Sugere-se que pesquisas com tambaqui em fase de engorda busquem estabelecer dietas  
1090 de acordo com fase de desenvolvimento com formulações específicas para espécies  
1091 nativas. Além de elucidar sobre os aspectos metabólico e fisiológico por meio da  
1092 suplementação com aminoácidos essenciais.

1093 É crucial a continuidade de estudos da nutrição para peixes, em especial, direcionadas as  
1094 espécies nativas, contribuindo nas formulações de dietas práticas e econômicas para  
1095 promover o desempenho do animal. E conseqüentemente reduzir impactos ambientais e  
1096 custos proveniente da alimentação.

1097 Através dos requisitos de aminoácidos essenciais na composição do filé estabelecido  
1098 neste estudo demonstram ser possível para elaborar futuras formulações de dietas  
1099 experimentais.

## REFERÊNCIAS

- ABIMORAD, E. G. *et al.* (2010). Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu *Piaractus mesopotamicus*. **Aquaculture Nutrition**, 16, 370-377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x>
- ALMEIDA, L.C. *et al* (2011) Growth and metabolic responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed different levels of protein and lipid. **Aquaculture Nutrition**, 17 (2) p.253-262. <https://doi:10.1111/j.1365-2095.2010.00759.x>
- ALMEIDA, L.C. LUNDSTEDT, L.M.; MORAES, G. (2006) Digestive enzyme responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed on different levels of protein and lipid. **Aquaculture Nutrition**, v.12 p.443-450. <https://doi:10.1111/j.1365-2095.2006.00446.x>
- ARIDE, P.H.R. *et al.* (2018) Changes on physiological parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed with diets supplemented with Amazonian fruit Camu camu (*Myrciaria dubia*). **Brazilian Journal of Biology** 78(2):360-367. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.169442>
- ARIDE, P.H.R. *et al.* (2021) Growth and hematological responses of tambaqui, *Colossoma macropomum* fed different levels of rice, *Oryza* spp. **Brazilian Journal of Biology** 81(4), 962-968. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.232560>
- BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; CYRINO, J.E.P. (2009). Dietary lysine requirement of juvenile pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Aquaculture** 297, 151-156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.031>
- BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; CYRINO, J.E.P. (2010). Growth performance and body composition of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887) in response to dietary protein and energy levels. **Aquaculture Nutrition**. 16, 213–222. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00653.x>.
- BIDINOTTO, P.M.; SOUZA, R.H.S.; MORAES, G. (1997). Hepatic glycogen in eight tropical freshwater teleost fish: a procedure for field determinants of microsamples. *Boletim Técnico CEPTA*, 10, 53-60.
- BOMFIM, M. A. D. *et al.* (2010). Níveis de lisina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 39(1), 1-8.
- BOMFIM, M.A.D. *et al.* (2020). Digestible tryptophan requirement for tambaqui (*Colossoma macropomum*) fingerlings. **Revista Ciência Agronômica**. v.51, n.2, e20196724. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200025>
- BUSSONS, I. N. B. *et al.* (2021). Growth performance, hematological responses and economic indexes of *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) fed graded levels of glycerol. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 249, 109122. doi:10.1016/j.cbpc.2021.109122

- BUZOLLO, H. *et al.* (2019). Digestible protein requirements and muscle growth in juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture Nutrition**. <https://doi.org/10.1111/anu.12888>
- CHENG, Z.J.; HARDY, R.W.; USRY, J.L. (2003). Effects of lysine supplementation in plant protein-based diets on the performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and apparent digestibility coefficients of nutrients. **Aquaculture**, 215(1-4), 255-265. doi:10.1016/s0044-8486(02)00166-7
- CORRÊA, C.F. *et al.* (2007). Responses of digestive enzymes of tambaqui (*Colossoma macropomum*) to dietary cornstarch changes and metabolic inferences. **Comparative Biochemistry and Physiology. PART A** 147 857-862. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.12.045>
- COSTA, A.C. *et al.* (2020). Similarity between *Piaractus mesopotamicus*, *Colossoma macropomum* and their interspecific hybrids. **Aquaculture** 526, 2018–2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735397>
- COWEY, C.B. (1994). Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. **Aquaculture**, 124(1-4), 1-11. doi:10.1016/0044-8486(94)90349-2
- DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. (2012) Métodos para análise de alimentos. Suprema, Visconde do Rio Branco, p.214.
- EMBRAPA (2023) CIAqui - Centro de Inteligência e Mercado em Aquicultura: comércio exterior – exportação 2022. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1151200/1/InfComExpPisci-12.pdf> (Acessado em 06 de fevereiro de 2024).
- FAO, (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FARIAS, C.V. *et al.* (2021) Amylose and amylopectin levels affect the growth performance and metabolism in pacu *Piaractus mesopotamicus*. **Animal Feed Science and Technology** 279 (2021) 115020. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115020>.
- FELIX e SILVA, A. *et al.* (2020) Effects of whole banana meal inclusion as replacement for corn meal on digestibility, growth performance, haematological and biochemical variables in practical diets for tambaqui juveniles (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture Reports**, 17, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100307>
- FIRMO, D.S. *et al.* (2018). Theonine to lysine ratio in diets of tambaqui juveniles (*Colossoma macropomum*). *Semina: Ciências Agrárias*, v.39, n.5, p.2169-2180. DOI:10.5433/1679-0359.2018v30n5p2169.
- FURUYA, W. M. *et al.* (2005) Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, p. 1433-1441, 2005.
- FURUYA, W. M. *et al.* (2006) Exigência de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p. 937-942.
- FURUYA, W. M. *et al.* (2004) Exigência de lisina pela tilápia do Nilo (*Oreochromis*

*niloticus*), na terminação. **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1571-1577.

FURUYA, W.M. *et al.* (2013) Exigência de lisina digestível para a tilápia do Nilo de 87 a 226 g alimentada com dietas balanceadas para a relação arginina:lisina. **Semina: Ciências Agrárias** (34), 1945-1954. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1945>.

GONÇALVES, E.G., CARNEIRO, D.J. (2003). Coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e energia de alguns ingredientes utilizados em dietas para o pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*). **Revista Brasileira de Zootecnia** 32 (4), 779-786. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000400001>

GONÇALVES, G. S. *et al.* (2009) Relação lisina digestível: proteína digestível em rações para tilápias-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG v. 38, n. 12, p. 2299-2305.

GUIMARÃES, I.G.; MARTINS, G.P. Nutritional requirement of two Amazonian aquacultured fish species, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) and *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): a mini review. **J. Appl. Ichthyol.** 31, 57-66. <https://doi.org/10.1111/jai.12976>

GUIMARÃES, I.G.; MIRANDA, E.C.; ARAUJO, J.G. (2014). Coefficients of total tract apparent digestibility of some feedstuffs for Tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Animal Feed Science and Technology**, 188 150-155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.11.007>

HUA, K.; SUWENDI, E.; BUREAU, D.P. (2019). Effect of body weight on lysine utilization efficiency in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture** 505, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.030>

KARI, Z.A. *et al.* (2022) Effect of fish meal substitution with fermented soy pulp on growth performance, digestive enzyme, amino acid profile, and immune-related gene expression of African catfish (*Clarias gariepinus*). **Aquaculture** 546, 737418. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737418>

KHAN, F.M.A. (2014) Total sulfur amino acid requirement and cystine replacement value for fingerling stinging catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch). **Aquaculture**, 426, 270-281.

KHAN, K.U. *et al.* (2019). Wholebody amino acid pattern of juvenile, preadult, and adult pacu, *Piaractus mesopotamicus*, with an estimation of its dietary essential amino acid requirements. **Journal of the World Aquaculture Society**. 51, 1-11. <https://doi.org/10.1111/jwas.12600>.

LI, P. *et al.* (2009) New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. **Amino Acids** 37, 43-53. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0171-1>.

LI, X.F. *et al.* (2013). Effects of dietary carbohydrate/lipid ratios on growth performance, body composition and glucose metabolism of fingerling blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*. **Aquacult. Nutr.** 19, 701-708. <https://doi.org/10.1111/anu.12017>

- LIEBL, A.R.S. *et al.* (2021) Lysine effect on the characterization of fillet, by-products, residues, and morphometry of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). *Lat Am JAquat Res* 49(4):620–631. <https://doi.org/10.3856/vol49-issue4-fulltext-2701>
- LIEBL, A.R.S. *et al.* (2022) Dietary lysine requirements of *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) based on growth performance, hepatic and intestinal morphohistology and hematology. **Veterinary Research Communications** 46:9-25. <https://doi.org/10.1007/s11259-021-09872-6>
- LOCHMANN, R. *et al.* (2009). Effects of carbohydrate-rich alternative feedstuffs on growth, survival, body composition, hematology and nonspecific immune response of black pacu, *Colossoma macropomum*, and red pacu, *Piaractus brachypomus*. **Journal of the World Aquaculture Society**. 40, 33-44. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00232.x>.
- MARCHÃO, R. S. *et al.* (2024) Evaluation of dietary tryptophan requirement on growth, whole-body composition, and hematobiochemical parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in the fattening phase. **Aquaculture International** 32:633-652. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01179-4>
- MARCHÃO, R. S. *et al.* (2022). Digestible threonine requirement in tambaqui (*Colossoma macropomum*) diets: Growth, body deposition, haematology and metabolic variables. **Aquaculture Research**, 53, 5697-5709. <https://doi.org/10.1111/are.16051>
- MARCHÃO, R.S. *et al.* (2020). Digestible lysine requirement for Tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles using the diet dilution technique. **Aquaculture Reppors**. (18) 100482. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100482>
- MARTINS, C.I.M.; EDING, E.H.; VERRETH, J.A.J. (2011) The effect of recirculating aquaculture systems on the concentrations of heavy metals in culture water and tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Food Chemistry** 126, 1001-1005. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.11.108
- MELO, J.F.B. *et al.* (2006) Effects of dietary levels of protein on nitrogenous metabolism of *Rhamdia quelen* (Teleostei: Pimelodidae). **Comparative Biochemistry and Physiology**, 181-187. DOI:10.1016/j.cbpa.2006.06.007.
- MELO, J.F.B. *et al.* (2016). Glycolysis and gluconeogenesis in the liver of catfish fed with different concentrations of proteins, lipids and carbohydrates. **Arq Bras Med Vet Zootec** 68:1251-1258. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-8337>
- MENDONÇA, P. P. *et al.* (2012) Efeito da suplementação de fitase na alimentação de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 61, n. 235, p. 437-448.
- MICHELATO, M. *et al.* (2016) Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. **Aquaculture** 457:124–130. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>
- MIZANUR, R.M. *et al.* (2014). The effects of feeding rates in juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) reared at 17°C and 20°C water temperatures. **Aquaculture International**. 22, 1121-1130. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9732-8>

- MORANTE, V.H.P. *et al.* (2021) Assessment the crude grape extract as feed additive for tambaqui (*Colossoma macropomum*), an omnivorous fish. **Aquaculture**.  
<https://doi.org/10.1007/s10695-020-00868-8>
- NASCIMENTO, T.M.T. *et al.* (2020) Determination of the optimum dietary essential amino acid profile for growing phase of Nile tilapia by deletion method. **Aquaculture**. 523, 735204
- NEVES, L.C. *et al.* (2020) Physiological and metabolic responses in juvenile *Colossoma macropomum* exposed to hypoxia. **Fish Physiol Biochem.**, 46:2157-2167  
<https://doi.org/10.1007/s10695-020-00868-8>
- NUNES, E. S. S. *et al.* (2006). Enzimas digestivas exógenas na alimentação de juvenis de tambaqui. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(1), p.139-143
- OLIVEIRA, T.S. *et al.* (2021). Evaluation of the optimum dietary essential amino acid pattern for adult pacu (*Piaractus mesopotimicus*). *Aquaculture* 540736686.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736686>
- OLSSON, C. (2011) The gut anatomy and morphology: Gut anatomy. A.P. Farrell (Ed.), Gas Exchange, Internal Homeostasis, and Food Uptake, *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*, Academic Press, San Diego, pp. 1268-1275  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374553-8.00071-X>
- PEIXE BR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA - **ANUÁRIO Peixe BR da Piscicultura 2024**. Pinheiros, SP. 2024. 63p.
- PEIXE BR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA - **ANUÁRIO Peixe BR da Piscicultura 2023**. Pinheiros, SP. 2023. 65p.
- POLAKOF, S. *et al.* (2012) Glucose metabolism in fish: a review. **J. Comp. Physiol. B.** 182, pp.1015-1045. <https://doi.org/10.1007/s00360-012-0658-7>
- POLESE, M.F. *et al.* (2022). Zootechnical indices and digestibility in juveniles of tambaqui *Colossoma macropomum* fed a diet containing particulate maize. **Brazilian Journal of Biology**. vol. 82, e232612. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.232612>
- PRABU, E. *et al.* (2019) Effects of dietary L-lysine supplementation on growth, body composition and muscle-growth-related gene expression with an estimation of lysine requirement of GIFT tilapia. **Aquaculture Nutrition**. 2019:00-1-11.  
<https://doi.org/10.1111/anu.13018>
- RANZANI-PAIVA, M.J.T. *et al.* (2013). Métodos para análise hematológica em peixes. Editora da Universidade Estadual de Maringá. EDUEM, Maringá, Brasil, pp. 135.
- RICHTER, B. L. *et al.* (2020) Combination of lysine and histine improves growth performance, expression of muscle growth-related genes and fillet quality of Grow-out Nile tilapia. **Aquaculture Nutrition**. p.1-13 <https://doi.org/10.1111/anu.13207>
- ROCHA, A.S. *et al.* (2023) Assessment of methionine plus cystine requirement of tambaqui (*Colossoma macropomum*) based on zootechnical performance, body composition, erythrogram, and plasmatic and hepatic metabolites. **Veterinary Research Communications** 47, 2111-2125 <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10175-1>

- RODRIGUES, A. P. O. (2014) Nutrição e alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). Boletim do Instituto de Pesca, v. 40, n. 1, p. 135-145.
- ROMANELI, R.S. *et al.* (2021) Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to lysine: performance, body composition, maintenance and efficiency of utilization. **Aquaculture** (538) 736522. doi:10.1016/j.aquaculture.2021.736522
- SANDRE, L.C.G. *et al.* (2017). Productive performance and digestibility in the initial growth phase of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed diets with diferente carbohydrate and lipids levels. **Aquaculture Reports**, 6,28-34. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.02.003>
- SARATH, G.; MOTTE, R.S. de la; WAGNER, F.W. (1989) Protease assay Methods. In: Proteolytic enzymes: a practical approach, R.J. Beynon and J.S.Bond, eds. Pp.25-55, Oxford:IRL Press.
- SILVA, J. C. *et al.* (2018). Lysine requirement for tambaqui juveniles. Semina: **Ciências Agrárias**, 39(5), 2157–2168. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2157>
- SOUSA, M.C. *et al.* (2021) Lysine requirements of tambatinga (♀ *Colossoma macropomum* × ♂ *Piaractus brachypomus*) fingerlings using different diet formulation techniques. **Aquaculture Nutrition**, 27(6):1825-1836.
- SOUZA, A.R.L. *et al.* (2021). Crude extract from yellow yam (*Dioscorea cayennensis*) in in-vitro *Lactobacillus* spp. Assessment, and as a growth promoter in tambaqui juveniles (*Colossoma macropomum*). **Journal of Applied Aquaculture**. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1976347>
- TAKISHITA, S.S. *et al.* (2009) Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira Zootecnia**. v.38, n.11, pp. 2099-2105. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001100004>.
- TAMMAN, M.S. *et al.* (2020) Combined effects of surface area pf periphyton substrates and stocking density on growth performance, health status, and imune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) produced in cages. **Journal of Applied Phycology** 32, 3419-3428 <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02136-x>
- TAVARES-DIAS, M.; SANDRIM, E.F.S. (1998) Características hematológicas de teleósteos brasileiros. I. Série vermelha e dosagens de cortisol e glicose do plasma sanguíneo de espécimes de *Colossoma macropomum* em condições de cultivo. **Acta Scientiarum**, v.20, p.157-160.
- TAVARES-DIAS, M.; MARTINS, M.L.; MORAES, F.R. (2000) Relação hepatossomática e esplenosomática em peixes teleósteos de cultivo intensivo. **Revista Brasileira de Zoologia**. 17(1): 273-281.
- TAVARES-DIAS, M. *et al* (2009). Hematologia: ferramenta para o monitoramento do estado de saúde de peixes em cultivo. In A. Saran-Neto, W. Mariano, S. Dos, & S. F. P. Sória (Eds.), Tópicos especiais em saúde e criação animal (1st ed., pp. 43-80). Pedro & João.

- TEIXEIRA, S.O. *et al.* (2020). Optimal dietary lysine improves growth performance, increases protein deposition and reduces lipid accumulation in tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles. **Aquaculture Research**, 51,5065-5073.  
<https://doi.org/10.1111/are.14845>
- UNGAR, A.B. *et al.* (2009) Efeito da adição de aminoácidos essenciais à dieta sobre a secreção de enzimas digestivas de jundiá *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Pimelodidae).  
<https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v31i1.822>
- VIDAL JR, M.V. *et al.* (1998). Níveis de proteína bruta para tambaqui (*Colossoma macropomum*), na fase de 30 a 250 gramas. 1. Desempenho dos tambaquis. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 27: 421-426.
- WILSON, R. P. (2002). Amino acids and proteins. In J. E. Halver, & R. W. Hardy (Eds.), *Fish nutrition* (pp. 143-179). San Diego, CA: AcademicPress.
- WILSON, R.P.; HALVER, J.E. (1986). Protein and amino acid requirements of fishes *Revisão Anual de Nutrição*, 6(1), 225–244. doi:10.1146/annurev.nu.06.070186.001301
- WOOD, C. M. *et al.* (2016) Nitrogen metabolism in tambaqui (*Colossoma macropomum*), a neotropical model teleost: hypoxia, temperature, exercise, feeding, fasting, and high environmental ammonia. **Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology**, v. 187, n. 1, p. 135-151.  
<https://doi.org/10.1007/s00360-016-1027-8>.
- WOYNÁROVICH, A.; ANROOY, R.V. (2019). Field guide to the culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816). FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper N. 624. Rome, FAO.132 pp.
- WU, F. *et al.* (2018) Effect of stocking density on growth performance, serum biochemical parameters, and muscle texture properties of genetically improved farm tilápia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International** 26:1247-1259.  
<https://doi.org/10.1007/s10499-018-0281-z>