

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 28/02/2027.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**MODELAGEM DO CRESCIMENTO DOS
COMPONENTES QUÍMICOS CORPORAIS E
DAS EXIGÊNCIAS DE AMINOÁCIDOS
ESSENCIAIS PARA TILÁPIA-DO-NILO**

Thaís da Silva Oliveira

Jaboticabal, São Paulo
2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP**

**MODELAGEM DO CRESCIMENTO DOS
COMPONENTES QUÍMICOS CORPORAIS E
DAS EXIGÊNCIAS DE AMINOÁCIDOS
ESSENCIAIS PARA TILÁPIA-DO-NILO**

Thaís da Silva Oliveira

Orientador: Prof. Dr. João Batista Kochenborger Fernandes

Coorientador: Dr. Matheus de Paula Reis

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora.

Jaboticabal, São Paulo
2025

O48m

Oliveira, Thaís da Silva

Modelagem do crescimento dos componentes químicos corporais e das exigências de aminoácidos essenciais para tilápia-do-Nilo / Thaís da Silva Oliveira. -- Jaboticabal, 2025
101 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal

Orientador: João Batista Kochenborger Fernandes

Coorientador: Matheus de Paula Reis

1. Aquicultura. 2. Nutrição animal. 3. Modelagem de dados. I.
Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Unidade Complementar - Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Modelagem do crescimento dos componentes químicos corporais e das exigências de aminoácidos essenciais para tilápia-do-Nilo

AUTORA: THAÍS DA SILVA OLIVEIRA

ORIENTADOR: JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES

COORIENTADOR: MATHEUS DE PAULA REIS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Aquicultura, pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br JOAO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES
Data: 14/03/2025 16:29:58-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES (Participação Presencial)
Laboratório de Peixes Ornamentais / Centro de Aquicultura da UNESP, CAUNESP, Jaboticabal-SP

Documento assinado digitalmente
gov.br JEFFERSON COSTA DE SIQUEIRA
Data: 15/03/2025 07:37:16-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. JEFFERSON COSTA DE SIQUEIRA (Participação Virtual)
Centro de Ciências Agrárias e Ambientais / Universidade Federal do Maranhão - Chapadinha/MA

Documento assinado digitalmente
gov.br RAFAEL DE SOUZA ROMANELI
Data: 15/03/2025 16:46:42-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Pós-Doutorando RAFAEL DE SOUZA ROMANELI (Participação Presencial)
Centro de Aquicultura da UNESP / UNESP, Jaboticabal/SP


Professor Dr. KIFAYAT ULLAH KHAN (Participação Virtual)
. / Government College University Lahore, Lahore/Pasquistão

Documento assinado digitalmente
gov.br JULIO HERMANN LEONHARDT
Data: 17/03/2025 15:25:37-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor Associado JULIO HERMANN LEONHARDT (Participação Virtual)
Ciências Fisiológicas / Universidade Estadual de Londrina, Londrina/ PR

Jaboticabal, 28 de fevereiro de 2025

Centro de Aquicultura - Unidade Complementar - Jaboticabal -
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellani, s/nº, 14870000
<http://www.caunesp.unesp.br/pos-graduacao/>

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	7
APOIO FINANCEIRO	8
RESUMO GERAL	9
GENERAL ABSTRACT	11
INTRODUÇÃO GERAL	13
Objetivo Geral:	14
CAPÍTULO I – Revisão	16
Resumo.....	16
1 Introdução	17
2 Equações de predição do crescimento corporal aplicadas na piscicultura	19
3 Modelos matemáticos para predição do crescimento corporal da tilápia ...	23
4 Dinâmica do crescimento corporal em peixes.....	26
4.1 Potencial genético de crescimento e peso à maturidade	29
4.2 Relação alométrica no crescimento corporal	32
4.3 Gordura matura.....	33
4.4 Exigência para manutenção e metabolismo basal	34
4.5 Custo para deposição de músculo e gordura.....	36
4.6 Consumo de ração.....	37
5. Softwares e programas computacionais aquícolas	41
6 Considerações Finais.....	42
Agradecimentos	44
Financiamento	44
Referências.....	44
CAPÍTULO II – Artigo	54
Resumo.....	55
1 Introdução	56
2 Material e Métodos.....	57
3 Resultados	62
4 Discussão	68
5 Conclusões	73

Agradecimentos	73
Financiamento	74
Referências.....	74
CAPÍTULO II – Artigo	78
Resumo.....	78
1 Introdução	79
2 Material e Métodos.....	81
3 Resultados e Discussão.....	86
4 Conclusão	94
Agradecimentos	95
Financiamento	95
Referências.....	95
CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES	99

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por me guiar por todo este caminho percorrido, e permitir que fosse possível alcançar meus objetivos até o momento;

Aos meus pais por tudo;

Ao meu companheiro de vida, Johnathan Soares;

Ao meu orientador, Dr. João Batista Kochenborger Fernandes, por me acolher em seu laboratório e grupo de pesquisa, além da oportunidade do desenvolvimento da presente pesquisa e por todos os conhecimentos adquiridos neste período. Sou eternamente grata ao senhor, professor;

Ao meu coorientador, Dr. Matheus de Paula Reis, por me apresentar a área de modelagem, além disso, agradecer a paciência e todo ensinamento;

À professora Dra. Nilva Kazue Sakomura pela oportunidade de trabalhar junto ao seu grupo de pesquisa, e por todas as oportunidades oferecidas durante estes anos;

À equipe de pesquisa do setor de Avicultura da UNESP, Campus de Jaboticabal, pelos auxílios nas análises dos dados, por todo conhecimento adquirido neste período;

Aos grandes amigos conquistados no Caunesp, que de alguma forma me auxiliaram no desenvolvimento deste estudo ou pelos conselhos e momentos de distração, Valdecir (Val), Márcio (Perereca), Luiz, Elaine, Suely, Eleusa, Lucia, Jamil entre outros que sempre estavam presentes nestes momentos;

Aos meus amigos e parceiros mais antigos, Magdiel, Jéssica, Rafael Romaneli, Laíza, Thaise. Aos amigos conquistados recentemente, Janaína, Vinícius, Dadinho, Hugo, entre outros que tive oportunidade de conhecer neste tempo.

Agradecer à minha grande amiga de longa data, que esteve presente desde a graduação, Letícia (Trutinha), que além de uma grande parceira de trabalho, é uma amiga incondicional!

APOIO FINANCEIRO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

RESUMO GERAL

Modelar o crescimento e as exigências nutricionais de peixes, é fundamental para a otimização da produção aquícola, contribuindo para a sustentabilidade e sucesso da piscicultura. A modelagem matemática permite prever o crescimento corporal e as necessidades nutricionais, ajustando a alimentação conforme as diferentes fases de vida dos peixes, o que é essencial para maximizar o ganho de peso e a saúde dos animais. Esta tese aborda os principais conceitos aplicados neste processo de modelagem. Além disso, são apresentados mais dois capítulos demonstrando a importância da calibração adequada dos parâmetros da equação de predição do potencial de crescimento do peixe e de ajustar a oferta de ração conforme a composição nutricional da ração utilizada. Na literatura e no mercado já existem algumas equações e modelos de predição de crescimento. No entanto, estes modelos frequentemente utilizam equações de regressão e coeficientes que, muitas vezes, desconsideram os mecanismos fisiológicos e biológicos do animal. A tese apresenta uma abordagem utilizando a equação Gompertz para prever o potencial de crescimento da tilápia. Este trabalho destaca a necessidade da calibração adequada dos parâmetros da equação que prediz o potencial de crescimento. As análises comparativas entre diferentes métodos de calibração, como o uso de iterações no Excel versus o software SAS, revelam discrepâncias que podem impactar significativamente as previsões e, conseqüentemente, as estratégias de manejo nutricional. Assim, a adoção de modelos preditivos sofisticados e bem calibrados é essencial para a aquicultura moderna, permitindo ajustes no manejo alimentar que promovam o crescimento saudável e sustentável dos peixes, além de aumentar a eficiência econômica das operações aquícolas. A partir de uma predição do potencial adequado o próximo passo é estimar a quantidade de ração que o animal precisa consumir para atingir as necessidades nutricionais para expressar esse crescimento potencial. Para isso, foi simulado o consumo de ração de uma tilápia no seu potencial de crescimento quando ofertado três dietas: baixa concentração de lisina, "dose ótima" e alta concentração. Essa abordagem é descrita pela

Teoria do Consumo de Emmans, onde o animal tende a consumir o suficiente para atingir sua exigência nutricional. Foi constatado que a tilápia iria apresentar diferentes consumos de ração conforme a concentração de lisina na dieta. Com uma concentração de lisina 46% menor do que a dose ótima praticada no mercado atualmente, o peixe precisaria consumir cerca de 103% a mais de ração. Já quando utilizada a ração com 45% a mais de lisina, o peixe consumiria cerca de 32% a menos de ração. Isso demonstra que o peixe precisaria consumir mais ração para compensar a baixa concentração de uma dieta, enquanto para a outra dieta pode comer menos para atingir sua exigência. Contudo, os consumos apresentados aqui no trabalho estão considerando o ótimo biológico da tilápia simulada, para atingir seu potencial de crescimento.

Palavras-chaves: Aquicultura 4.0, Crescimento corporal, Eficiência alimentar, Nutrição de peixes, Otimização proteica

GENERAL ABSTRACT

Modeling the growth and nutritional requirements of fish is essential for optimizing aquaculture production, contributing to the sustainability and success of fish farming. Mathematical modeling allows for the prediction of body growth and nutritional needs, adjusting feeding according to the different life stages of fish, which is crucial for maximizing weight gain and animal health. This thesis addresses the key concepts applied in this modeling process. Additionally, two more chapters are presented, demonstrating the importance of properly calibrating the parameters of the equation that predicts the fish's growth potential and adjusting the feed supply according to the nutritional composition of the feed used. In the literature and the market, there are already some equations and growth prediction models. However, these models often use regression equations and coefficients that frequently overlook the physiological and biological mechanisms of the animal. This thesis introduces an approach using the Gompertz equation to predict the growth potential of tilapia. The study highlights the need for proper calibration of the parameters in the equation that predicts growth potential. Comparative analyses between different calibration methods, such as using iterations in Excel versus the SAS software, reveal discrepancies that can significantly impact predictions and, consequently, nutritional management strategies. Thus, adopting sophisticated and well-calibrated predictive models is essential for modern aquaculture, allowing for dietary management adjustments that promote healthy and sustainable fish growth while increasing the economic efficiency of aquaculture operations. Once an adequate growth potential prediction is established, the next step is to estimate the amount of feed the animal needs to consume to meet its nutritional requirements and express this potential growth. To achieve this, a simulation was conducted on the feed consumption of a tilapia at its growth potential when offered three different diets: low lysine concentration, "optimal dose," and high lysine concentration. This approach is described by Emmans' Consumption Theory, which states that the animal tends to consume enough to meet its nutritional requirement. It was found that tilapia exhibited different feed

consumption levels depending on the lysine concentration in the diet. With a lysine concentration 46% lower than the optimal dose currently practiced in the market, the fish consumed approximately 103% more feed. On the other hand, when fed a diet with 45% more lysine, the fish consumed about 32% less feed. This demonstrates that the fish consumed more feed to compensate for the low concentration in one diet, while in the other diet, it could eat less to meet its requirement. However, the consumption levels presented in this study consider the biological optimum of the simulated tilapia to reach its growth potential, which differs from real-world conditions where farmers feed tilapia to achieve their economic optimum.

Keywords: Aquaculture 4.0, Body growth, Feed efficiency, Fish nutrition, Protein optimization

INTRODUÇÃO GERAL

A modelagem é uma ferramenta essencial para compreender e otimizar a performance dos sistemas de produção animal. Este campo exige uma abordagem multidisciplinar, possibilitando a formação de equipes diversas que trabalham para atingir objetivos comuns. A aplicação de modelos computacionais na nutrição animal pode viabilizar a criação de sistemas interativos, fornecendo informações relevantes para diversas condições de criação.

Um modelo preditivo nutricional permite avaliar populações de animais e planejar estratégias adaptativas em resposta a mudanças nas curvas de crescimento (IWAMA e TAUTZ, 1981; BUREAU et al., 2000, 2002; DUMAS et al., 2010). Dessa forma, o manejo alimentar pode ser otimizado para atingir objetivos específicos da produção, como maximizar a uniformidade dos lotes ou minimizar custos (GOUS, 1998; CHO e BUREAU, 1998; STRAND, 2005). Apesar do avanço em outros setores, ainda não foi desenvolvido um modelo de predição nutricional para peixes que considere a dinâmica entre o crescimento corporal e as variações na composição da dieta (PFEFFER e PIEPER, 1979; CHO et al., 1982; CUI e XIE, 2000; BUENO et al., 2017; MILNE et al., 2015; CAI et al., 2016).

Para aves e suínos, diversos modelos têm sido utilizados para apoiar a tomada de decisões na indústria animal. Exemplos incluem o FORTEL™ (EMMANS, 1981), CHICKPOT™ (HURWITZ et al., 1978), IGM® (HARLOW; IVEV, 1994), OMNIPRO® (FANCHER, 1999) e BGM® (REIS et al., 2023), entre outros. Já para peixes, muitos softwares e aplicativos foram lançados no mercado nos últimos anos. No entanto, muitas dessas ferramentas tecnológicas utilizam equações de regressão e o Coeficiente de Crescimento Térmico (Thermal Growth Coefficient - TGC) para a predição do crescimento dos peixes. Na maioria dos casos, esse crescimento é expresso como ganho de peso absoluto, desconsiderando se o peixe está realmente depositando proteína.

Considerando o crescimento significativo da piscicultura, especialmente no Brasil, é crucial desenvolver ferramentas eficazes para simular e prever os resultados dos lotes. Essas ferramentas podem identificar fatores a serem otimizados, reduzir os custos de produção e aumentar a rentabilidade (FURLANETO et al., 2009). Diante desse cenário, esta tese aborda os principais aspectos do desenvolvimento de modelos matemáticos para a predição do crescimento corporal e das exigências nutricionais da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*).

5 Conclusão

A abordagem SAS trouxe uma predição mais adequada, apesar do peso inicial predito ser maior do que o observado, e apresentar menores valores de $1-R^2$ dos resíduos. Já a abordagem Gt apresentou maior viés, sendo necessário ajustes nos parâmetros da equação.

Agradecimentos

Sinceros agradecimentos à equipe de pesquisa do Laboratório de Avicultura da UNESP em Jaboticabal. E à Capes e à Fapesp pelo financiamento da pesquisa.

Financiamento

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001; e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo [número de bolsa 2013/25761-4].

Referências

Amancio, A.L.L., Silva, J.H.V., Fernandes, J.B.K., Sakomura, N.K., Cruz, G.R.B. 2014. Use of mathematical models in the study of bodily growth in GIFT strain Nile Tilapia. *Rev. Cien. Agron.* 45, 257-266. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200005>.

Ansah, Y.B., Frimpong, E.A. 2015. Using Model-Based Inference to Select a Predictive Growth Curve for Farmed Tilapia. *North Amer. J. Aquac.* 77, 281-288. <https://doi.org/10.1080/15222055.2015.1020080>.

Association of Official Agricultural Chemists – International [AOAC]. 2005. *Official Methods of Analysis*. 18ed. AOAC. Gaithersburg, MD, USA.

Brabo, M.F., 2014. Piscicultura no Estado do Pará: situação atual e perspectivas. *Actapesca* 2, 1-7.

De Carvalho, L.R.H., Souza, L.A.R., Cintra, A.H.I., 2013. A aquicultura na microrregião do Guamá, Pará, Amazônia Oriental, Brasil. *Rev. Ciênc. Agrár.* 56, 1-6. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.009>.

Dumas, A., France, J., Bureau, D.P., 2010. Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going?. *Aquac. Res.* 41, 161-181. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02323.x>.

Emmans, G.C. 1987. Growth, body composition and feed intake. *W. Poultry Sc. J.* 43, 208-277.

Emmans, G.C. 1995. Problems in modelling the growth of poultry. *W. Poultry Sc. J.* 511, 77–89, 1995.

Emmans, G.C. 2022. The potential post-hatching growth of domestic birds in sufficiently described by the Gompertz function. *Brit. Poultry Sc.* 63, 701-719. <https://doi.org/10.1080/00071668.2022.2083941>.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Rome: FAO, 2022. <https://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf> (accessed 13 december 2023).

Fore, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J.A., Dempster, Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L.M., Schellewald, C., Skoien, K.R., Alver, M.O., Berckmans, D., 2018. Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. *Biosys. Eng.* 173, 176-193. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>.

Freitas, L.F.V.B., Bertechini, A.G., Clemente, A.H.S., Fernandes, F.A., Bauth, D., Fernandes, T.J. 2023. Growth curves of broilers fed different nutritional relationships using the Gompertz model. *Acta Sc.* 45, e58287. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v45i1.58287>.

Fuentes-Andraca, V.H., Araneda-Padilla, M.E., Domínguez-May, R., Gullian-Klanian, M., Marin-Coria, E.J., Quintana-Casares, J.C., Peñalosa-Martinell, D., Ponce-Díaz, G. 2023. Modeling Nile Tilapia Heterogeneous Growth under Different Stocking Densities during Pre-Grow-Out Stage. *Aquac. Res.* 2023. Article ID 9347654. <https://doi.org/10.1155/2023/9347654>.

Gompertz, B., 1825. On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 115, 513–583. <https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026>.

Green, J.A., Hardy, R.W., 2002. The optimum dietary essential amino acid pattern for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), to maximize nitrogen retention and minimize nitrogen excretion. *Fish Physiol Biochem.*, 27, 97-108. <https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000021878.81647.6e>.

Leishman, E.M., You, J., Ferreira, N.T., Adams, S.M., Tulpan, D., Zuidhof, M.J., Gous, R.M., Jacobs, M., Ellis, J.L. Review: When worlds collide - poultry

modeling in the 'Big Data' era. *Animal* 17, 100874. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100874>.

O'Donncha, F., Grant, J., 2019. Precision Aquaculture. *IEEE Internet of Things Magazine* 2, 26-30. <https://doi.org/10.1109/IOTM.0001.1900033>.

Peres, H., Oliva-Teles, A., 2009. The optimum dietary essential amino acid profile for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. *Aquac.* 296, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.046>.

Queiroz, D. M. A. Modelagem econômica do nível de proteína digestível para juvenis de tilápia do Nilo. 48f. 2018. Dissertação (Mestrado em Aquicultura), Centro de Aquicultura da Unesp, Universidade Estadual Paulista, 2018.

Reis, M.P., Gous, R.M., Hauschild, L., Sakomura, N.K. 2023. Evaluation of a mechanistic model that estimates feed intake, growth and body composition, nutrient requirements, and optimum economic response of broilers. *Animal* 17, 101016. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101016>.

Romaneli, R.S., Nascimento, T.M.T., Gous, R.M., Reis, M.P., Mansano, C.F.M., Khan, K.U., Sakomura, N.K., Fernandes, J.B.K., 2021. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to lysine: Performance, body composition, maintenance and efficiency of utilization. *Aquac.* 538, 736522. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736522>.

SAS Institute., 1996. SAS/STAT software: changes and enhancements for release 6.12. Sas Inst. (Version 6.12). https://www.sas.com/en_us/software/stat.html.

Van Milgen, J., Valancogne, A., Dubois, S., Dourmad, J-Y., Sève, B., Noblet, J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, p. 387–405, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020>.

Vargas, L., Sakomura, N.K., Leme, B.B., Antayhua, F., Reis, M.P., Gous, R. 2020. A description of the potential growth and body composition of two

commercial broiler strains. *Brit. Poultry Sc.* 61, 266-273.
<https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1716300>

Zardin, A.M.S.O., Oliveira, C.A.L., Oliveira, S.N., Yoshida, G.M., Albuquerque, D.T., Campos, C.M., Ribeiro, R.P. 2019. Growth curves by Gompertz nonlinear regression model for male and female Nile tilapias from different genetic groups. *Aquac.* 511, 734243.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734243>.

4 Conclusões

As exigências de aminoácidos essenciais e proteína para manutenção apresentaram um crescimento contínuo. Já a exigência para crescimento atingiu seu máximo aos 272 dias e apresentou uma redução no dia 299, demonstrando que o peixe passou a ter uma taxa de crescimento decrescente.

A concentração de lisina da dieta influenciou diretamente o consumo do peixe, como descrito na Teoria do Consumo de Emmans. Com uma concentração de lisina 46% menor do que a dose ótima, o peixe precisaria consumir cerca de 103% a mais de ração. Já quando utilizada a ração com 45% a mais de lisina, o peixe consumiu cerca de 32% a menos de ração.

Agradecimentos

Sinceros agradecimentos à equipe de pesquisa do Laboratório de Avicultura da UNESP em Jaboticabal. E à Capes e à Fapesp pelo financiamento da pesquisa.

Financiamento

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001; e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo [número do projeto 2013/25761-4].

Referências

- BORGES, A. M. **Criação de tilápias**. 3ª ed. Brasília: Emater, 2019, 56f.
- BOYD, C. E. General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds. In: JENEY, G. (Ed.). *Fish Diseases*. Academic Press. 2017. p. 147-166.
- EMMANS, G. C. A Method to Predict the Food Intake of Domestic Animals from Birth to Maturity as a Function of Time. **Journal of Theor. Biol.**, v. 186, p. 189-199, 1997.
- EMMANS, G. C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. **British Society of Animal Production Occasional Publication**, v. 5, p. 103-110, 1981.
- EMMANS, G. C. Genetic components of potential and actual growth. **Animal Breeding Opportunities**, British Society of Animal Production Occasional Publication nº 12, 1988.
- FROESE, R.; PAULY, D. Editors. 2024. FishBase. Disponível em: https://fishbase.net.br/search.php?c_code=052&c_code_onclick=052. Acesso em: 19 de maio de 2023.
- FURUYA, W. M.; FEIDEN, A. **Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias**. Toledo: GFM, 2010.
- FURUYA, W. M.; CRUZ, T. P.; GATLIN III, D. M. G. Amino Acid Requirements for Nile Tilapia: An Update. **Animals**, v. 13, n. 5, p. 900, 2023.

HUANG, D.; LIANG, H.; REN, M.; GE, X.; ZHANG, Q.; GU, J. The optimum dietary protein requirement of the genetically improved farmed tilapia (GIFT: *Oreochromis niloticus*): Effects on growth performance and protein metabolism via GH-IGF axis and TOR signalling pathway at different seasonal growth stages. **Aquaculture Research**, v. 53, p. 5413-5427, 2022.

KAUSHIK, S. J.; MÉDALE, D. F.; BLANC, P. A. D. Protein and energy needs for maintenance and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of Applied Ichthyology**, v. 11, p. 290-296, 1995.

KEBREAB, E.; FRANCE, J.; AGNEW, R. E.; YAN, T.; DHANOA, M. S.; DIJKSTRA, J.; BEEVER, D. E.; REYNOLDS, C. K. Alternatives to linear analysis of energy balance data from lactating dairy cows. **Journal Dairy Science**, v. 86, p. 2904-2913, 2003.

KONNERT, G. D. P.; GERRITS, W. J. J.; GUSSEKLOO, S. W. S.; SCHRAMA, J. W. Balancing protein and energy in Nile tilapia feeds: A meta-analysis. **Reviews in Aquaculture**, v. 14, n. 4, p. 1757-1778, 2022.

MOHAMMADI, M.; SARSANGI, A. H.; RAJABIPOUR, F.; MASHAI, N.; BITARAF, A.; HAFEZIEH, M.; IMANI, A. Lipid utilization, protein sparing effects and protein requirement of all male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) in underground brackish water. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v. 19, n. 3, p. 1517-1531, 2020.

NGUYEN, L.; DINH, H.; DAVIS, D. A. Efficacy of reduced protein diets and the effects of indispensable amino acid supplements for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Animal Feed Science and Technology**, v. 268, 114593, 2020.

NRC. **Nutrient Requirements of Poultry**. Washington, DC: National Academy Press, 1994.

NRC. **Nutrient Requirements of Swine**. Washington, DC: National Academy Press, 1998.

NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. Washington, DC: National Academy Press, 2000.

NRC. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. Washington, DC: National Academy Press, 2001.

NRC. **National Research Council. Nutrient requirements of fish and shrimp.** Washington: National Academy Press, 392p, 2011.

ROMANELI, R. S.; NASCIMENTO, T. M. T.; GOUS, R. M.; REIS, M. P.; MANSANO, C. F. M.; KHAN, K. U.; SAKOMURA, N. K.; FERNANDES, J. B. K. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to lysine: Performance, body composition, maintenance and efficiency of utilization. **Aquaculture**, v. 538, 736522, 2021.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais.** 4ed. Viçosa: Departamento de Zootecnia, UFV, 2017.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos.** Jaboticabal: Funep, 283p, 2016.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Piscicultura: Alimentação.** Brasília: Senar, 2009, 52p.

SUN, M.; HASSAN, S. G.; LI, D. Models for estimating feed intake in aquaculture: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 425-438, 2016.

VAN TRUNG, D.; DIU, N. T.; HAO, N. T.; GLENCROSS, B. Development of a nutritional model to define the energy and protein requirements of tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 320, n. 1-2, p. 69-75, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, foram demonstradas duas abordagens distintas para a estimativa dos coeficientes da equação de Gompertz, resultando em previsões divergentes. Embora a variação no peso estimado não seja considerável, ao calcular as exigências dos nutrientes essenciais para a previsão do consumo de ração, observamos discrepâncias significativas. Isso evidencia que, além de um modelo robusto capaz de prever o comportamento dos peixes sob diferentes condições, é crucial que seus coeficientes estejam rigorosamente calibrados para evitar erros.

Algumas hipóteses foram formuladas a partir das discrepâncias observadas entre as duas abordagens em relação ao crescimento inicial dos animais. A dificuldade da abordagem SAS em prever um peso inicial próximo ao observado sugere que a taxa de crescimento inicial dos peixes até 10g pode ser significativamente superior à dos peixes com mais de 10g, inviabilizando o ajuste de uma única curva para toda a vida do animal. Alternativamente, a limitação em prever o peso inicial pode ser atribuída à ausência de dados de peixes na faixa entre 2g e 54g, resultando em um modelo que não captura efetivamente o comportamento de crescimento dos peixes nessa fase.

Contudo, a utilização da abordagem da variável Gompertz (Gt) foi implementada com o objetivo de mitigar a diferença significativa entre as possíveis taxas de crescimento nas faixas de peso inicial e tardia, mas, ainda assim, a predição não foi totalmente eficiente. Portanto, é essencial dispor de um banco de dados mais abrangente, contendo mais observações de peixes com peso entre 2g e 10g, para que possamos compreender efetivamente esse comportamento de crescimento.

Os próximos passos deste estudo envolvem a aplicação da teoria do consumo descrita por Emmans, com o objetivo de demonstrar que variações na predição do peso corporal podem resultar em recomendações divergentes de consumo de ração, impactando diretamente a rentabilidade do negócio.

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

BUREAU, D. P.; AZEVEDO, P. A.; TAPIA-SALAZAR, M.; CUZON, G. Pattern and cost of growth and nutrient deposition in fish and shrimp: Potencial implications and applications. **Avances en Nutrición Acuícola V**, Mérida, Yucatán, Mexico, Fish nutrition research laboratory, p. 111-140, 2000.

BUREAU, D. P.; KAUSHIK, S. J.; CHO, C. Y. Bioenergetics. In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. (Eds). **Fish Nutrition**, Third Edition. Academic Press, San Diego, USA, v. 1, p. 1-59, 2002.

CAI, H.; ROSS, L.G.; TELFER, T.C.; CHANGWEN, W.; ZHU, A.; ZHAO, S.; XU, M. Modelling the nitrogen loadings from large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) cage aquaculture. **Environmental Science and Pollution Research**, v.23, p.7529-7542, 2016.

CHO, C. Y.; SLINGER, S. J.; BAYLEY, H. S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry**, v. 73, p. 25-41, 1982.

CHO, C. Y.; BUREAU, D. P. Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. **Aquatic Living Resources**, v. 11, p. 199-210, 1998.

CUI, Y.,; XIE, S. Modeling growth in fish. In: Kruger, J., van der Bank, F. H. (Eds.), **Fish Physiology and Biochemistry**. Springer, Dordrecht, 2000, pp. 399-423.

DUMAS, A.; FRANCE, J; BUREAU, D. P. Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going?. **Aquaculture Research**, v. 41, p. 161-181, 2010.

EMMANS, G. C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. **British Society of Animal Production Occasional Publication**, v. 5, p. 103-110, 1981.

FANCHER, B. I. Use of broiler growth modeling technology in live production strategic planning. Pages 41-50 In: **Proceedings of the Maryland Nutrition Conference**, College Park, MD. 1999.

FURLANETO, F. P. B.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C.; AYROZA, L. M. S. Eficiência econômica do bicultivo de peixes em viveiros escavados na região paulista do Médio Paranapanema. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 35, 2, p. 191-199, 2009.

GOUS, R. M. Making progress in the nutrition of broilers. **Poultry Science**, v. 77, p. 111-117, 1998.

HARLOW, H. B.; IVEV, F. J. Accuracy, precision and commercial benefits of growth modeling for broilers. **Journal Applied of Poultry Resource**, v. 3, p. 391-402, 1994.

HURWITZ, S.; SKLAN, D.; BARTOV, I. New formal approaches to the determination of energy and amino acid requirements of chicks. **Poultry Science**, v. 57, p. 197-205, 1978.

IWAMA, G. K; TAUTZ, A. F. A simple growth model for salmonids in hatcheries. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 38, p. 649-656, 1981.

JOBLING, M. **Fish bioenergetics**. London: Chapman & Hall, 309p., 1994.

LIU, C.; MAI, K.; ZHANG, W.; CHEN, Q.; LENG, Y. Studies on the nutrition of two species of catfish, *Silurus meridionalis* Chen and *S. asotus* Linnaeus. I. Effects of dietary protein and lipid on growth performance and feed utilization. **Aquaculture**, v. 404-405, p. 71-76, 2013.

MILNE, J. E.; MARVIN, C. H.; YERUBANDI, R.; MCCANN, K.; MOCCIA, R. D. Monitoring and modelling total phosphorus contributions to a freshwater lake with cage-aquaculture. **Aquaculture Research**, p.1-15, 2015.

PFEFFER, E.; PIEPER, A. Energy and protein retention and their relation to body composition in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). **Aquaculture**, v. 16, n. 3, p. 243-252, 1979.

REIS, M. P.; GOUS, R. M.; HAUSCHILD, L.; SAKOMURA, N. K. Evaluation of a mechanistic model that estimates feed intake, growth and body composition, nutrient requirements, and optimum economic response of broilers. **Animal**, v. 17, 101016, 2023.

STRAND, Å. **Growth and Bioenergetic Models and their Application in Aquaculture of Perch (*Perca fluviatilis*)**. Umea: SLU, 61p. Rapport, n. 42, 2005.