

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE ZOOTECNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Modelos matemáticos para estimar o consumo de alimento para  
Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e Tambaqui (*Colossoma  
macropomum*)**

**Antonio Wilson Fornero Aguiar**

**2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ZOOTECNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR O CONSUMO DE  
ALIMENTO PARA TILÁPIA DO NILO (*OREOCHROMIS NILOTICUS*)  
E TAMBAQUI (*COLOSSOMA MACROPOMUM*)**

**ANTONIO WILSON FORNERO AGUIAR**

*Sob a orientação do Professor*  
**Marcelo Maia Pereira**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AGUIAR, ANTONIO WILSON FORNERO, 1992-

A282m MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR O CONSUMO DE ALIMENTO PARA TILÁPIA DO NILO (OREOCHROMIS NILOTICUS) E TAMBÁQUI (COLOSSOMA MACROPOMUM) / ANTONIO WILSON FORNERO AGUIAR. - Barbacena, 2021.

45f.

Orientador: MARCELO MAIA PEREIRA. Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2021.

1. CRESCIMENTO ANIMAL. 2. MODELAGEM MATEMÁTICA. 3. AQUICULTURA. 4. TAMBÁQUI. I. MAIA PEREIRA, MARCELO, 1982-, orient. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA



TERMO Nº 885 / 2023 - PPGZ (12.28.01.00.00.00.61)

Nº do Protocolo: 23083.051032/2023-09

Seropédica-RJ, 04 de agosto de 2023.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE ZOOTECNIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**ANTONIO WILSON FORNERO AGUIAR**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre(a)** no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, área de Concentração em Zootecnia.

**DISSERTAÇÃO APROVADA**  
**EM 01/02/2021**

Marcelo Maia  
Pereira, Dr.  
FIPERJ  
(Presidente)

Matheus Pereira  
Dos Santos, Dr.  
UFRRJ

Giselle Eler  
Amorim Dias .  
Dr.<sup>a</sup> FIPERJ

*(Assinado digitalmente em 07/08/2023 14:32 )*

MATHEUS PEREIRA DOS SANTOS  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DPA (12.28.01.00.00.00.63)  
Matrícula: 3067308

*(Assinado digitalmente em 04/08/2023 10:06 )*

GISELLE ELER AMORIM DIAS  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 095.031.197-90

*(Assinado digitalmente em 04/08/2023 14:28 )*

MARCELO MAIA PEREIRA  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 066.467.316-32

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **885**, ano: **2023**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **04/08/2023** e o código de verificação: **9c467afb12**

## DEDICATÓRIA

Dedico esse, e todos os trabalhos aos meus pais **Evane de Carvalho** e **Renato Wilson** pelo apoio, amor, carinho.

## AGRADECIMENTOS

Ao grande carpinteiro do universo.

Ao professor Marcelo Maia Pereira pela orientação nesta dissertação, dedico minha admiração e respeito.

Aos meus colegas de curso que sempre me incentivaram e foram verdadeiros amigos, nas horas boas e ruins.

Aos amigos de alojamento, com quem tive enorme satisfação de conviver e compartilhar momentos que ficarão marcados para sempre, em especial Eddy, Letícia, Lucas, Hashi e Tito.

A todos os professores ao longo da graduação e pós-graduação, minha perene gratidão pela transmissão dos ensinamentos e sabedoria.

Aos membros da banca examinadora, Matheus Pereira dos Santos e Giselle Eler Amorim Dias.

À Carol e Natz, que de diversas formas, me ajudaram na conclusão deste trabalho.

Às minhas irmãs Anna Carolina, Luiza e Amanda, que sempre estão ao meu lado e pelas quais tenho enorme carinho.

Às minhas avós Mariquita e Eneida, pela oportunidade da vida das pessoas que eu amo.

A todas as escolas onde estudei em Minas Gerais, onde desfrutei de ensino público de qualidade, que me prepararam para concluir esta etapa e muitas outras que virão.

À UFRRJ que me proporcionou não só uma ótima base de conhecimentos acadêmicos em Agronomia e Zootecnia, mas também teve papel fundamental na minha formação como cidadão, além de todo suporte em moradia e alimentação de qualidade e gratuito.

À minha mãe Evane e meu pai Renato, pelos conselhos, pela excelente educação que me deram, por todo apoio psicológico e imenso esforço em todos os sentidos, dedico minha eterna gratidão.

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

## RESUMO

AGUIAR, Antonio Wilson Fornero. **Modelos matemáticos para estimar o consumo de alimento para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. 2021. 45p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

A tecnologia de precisão a cada dia se insere ao meio rural, e para isso, pesquisas com modelos matemáticos que possam ser adotadas para aperfeiçoar os manejos se fazem necessárias. Essa pesquisa tem o objetivo de elaborar curvas não lineares a partir de equações consolidadas no meio científico para o consumo de dietas para duas espécies de peixes de corte criadas no Estado do Rio de Janeiro (Tilápia do Nilo e Tambaqui). Ao obter informações sobre o crescimento ao longo do tempo e tabelas de oferta de alimentos para cada fase de crescimento para as espécies de peixes estudadas, se procedeu à elaboração de curvas de crescimento ao longo do tempo e de seu consumo alimentar. Com base nos dados coletados, os parâmetros das equações de quatro modelos não lineares (Gompertz, Von Bertalanffy, Brody e Logístico) foram estimados para as duas variáveis estudadas (Crescimento em peso (g) ao longo do tempo e Consumo alimentar (g) ao longo do tempo). Avaliadores de ajustes (interpretação biológica e análise dos resíduos studentizados) foram adotados para selecionar e verificar a qualidade dos modelos. Os dados gerados de oferta ou consumo de ração para tilápias do Nilo e tambaquís se adequaram aos modelos Gompertz e Logístico, respectivamente. Esses modelos podem ser utilizados para estimar consumo ou oferta de ração para tilápia do Nilo e o tambaqui, porém é necessário rigor nos critérios de avaliação e ajustes.

**Palavras-chave:** Alimentos, Curvas, Equações, Crescimento.

## ABSTRACT

AGUIAR, Antonio Wilson Fornero. **Mathematical models to estimate food consumption for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. 2021. 45p. Dissertation (Masters in Animal Science). Zootechny Institute, Federal Rural University from Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Precision technology is inserted every day into the rural environment, and for that, research with mathematical models that can be adopted to improve management is necessary. This research has the objective of elaborating non-linear curves from equations consolidated in the scientific environment for the consumption of diets for the two species of cut fish reared in the State of Rio de Janeiro (Nile Tilapia and Tambaqui). Obtaining information about growth over time and feed conversion for each growth phase for the fish species to be studied, growth curves over time and their food consumption will be elaborated. Based on the collected data, the parameters of the equations of four non-linear models (Gompertz, Von Bertalanffy, Brody and Logistical) were estimated for the two variables studied (Growth in weight (g) over time and Food consumption (g) at over time). Adjustment evaluators (biological interpretation and studentized waste analysis) were adopted to select and verify the quality of the models. The data generated on feed offer or consumption for Nile tilapia and tambaquis, were adapted to the Gompertz and Logistics models, respectively. These models can be used to estimate consumption or feed supply for Nile tilapia and tambaqui, but rigor in the evaluation criteria and adjustments is necessary.

**Key words:** Food, Curves, Equations, Growth.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Forma geral das funções não lineares utilizadas para descrever o crescimento peso-idade	9
<b>Tabela 2.</b>	Recomendação de taxa de arçoamento (%) para tilápia do Nilo de acordo com peso médio (g) dos peixes e temperatura da água de criação	11
<b>Tabela 3.</b>	Recomendação de taxa de arçoamento (%) para tambaqui de acordo com peso médio (g) dos peixes e temperatura da água de criação	12
<b>Tabela 4.</b>	Valores estimados para as equações de Gompertz para crescimento da tilápia do Nilo e oferta de ração	13
<b>Tabela 5.</b>	Valores estimados para as equações de Logístico para crescimento da tambaqui e oferta de ração	16

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Curva para crescimento de tilápia do Nilo estimado pelo modelo de Gompertz (Zardin <i>et al.</i> , 2019), curva de oferta de ração para tilápia do Nilo (calculada) e curva de oferta de ração para tilápia do Nilo estimada pelo modelo de Gompertz	13
<b>Figura 2.</b>	Estimativa de conversão alimentar para tilápia do Nilo a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Gompertz e dos valores calculados para oferta de ração	14
<b>Figura 3.</b>	Estimativa de conversão alimentar para tilápia do Nilo a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Gompertz e dos valores estimados pelo modelo de Gompertz para oferta de ração	15
<b>Figura 4.</b>	Valores de resíduos studentizados calculados para estimativas do modelo de Gompertz para oferta de ração para tilápia do Nilo	15
<b>Figura 5.</b>	Curva para crescimento de tambaqui estimado pelo modelo Logístico (Mourad <i>et al.</i> , 2018), curva de oferta de ração para tambaqui (calculada) e curva de oferta de ração para tambaqui estimada pelo modelo Logístico	16
<b>Figura 6.</b>	Estimativa de conversão alimentar para tambaqui a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Logístico e dos valores calculados para oferta de ração até 252 dias	17
<b>Figura 7.</b>	Estimativa de conversão alimentar para tambaqui a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Logístico e dos valores calculados para oferta de ração até 180 dias.	17
<b>Figura 8.</b>	Estimativa de conversão alimentar para tambaqui a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo Logístico e dos valores estimados pelo modelo Logístico para oferta de ração até 252 dias	18
<b>Figura 9.</b>	Estimativa de conversão alimentar para tambaqui a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo Logístico e dos valores estimados pelo modelo Logístico para oferta de ração até 180 dias	18
<b>Figura 10.</b>	Valores de resíduos studentizados calculados para estimativas do modelo Logístico para oferta de ração para tambaqui	19

## **LISTA DE ABREVIACÕES**

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimento
FIPERJ	Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Aquicultura Nacional</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Desenvolvimento na Produção de Peixes</b>	<b>3</b>
<b>2.3</b>	<b>Crescimento e Manejo de Arraçoamento</b>	<b>4</b>
<b>2.4</b>	<b>Especificidades de Cada Espécie</b>	<b>4</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Cultivo do Tambaqui</b>	<b>5</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Cultivo da Tilápia</b>	<b>6</b>
<b>2.5</b>	<b>Modelagem na Piscicultura</b>	<b>7</b>
<b>2.6</b>	<b>Equações Não Lineares</b>	<b>8</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Equação de Brody</b>	<b>9</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Equação de von Bertalanffy</b>	<b>9</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Equação logística</b>	<b>9</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Equação de Gompertz</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>22</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A aplicabilidade do manejo alimentar embasado em modelos matemáticos de consumo de ração é importante nos processos produtivos, que tendem a melhorar tanto os aspectos econômicos, quanto os aspectos técnicos nas mais diversas atividades. Na piscicultura, o manejo alimentar integrado a um banco de dados quantitativos, pode fornecer a dosagem ideal de alimentos para cada indivíduo em cada fase de desenvolvimento de acordo com fatores inerentes à qualidade da água. Dentre os principais fatores, cita-se a temperatura e oxigênio dissolvido (DUMAS; FRANCE; BUREAU, 2010).

Alterações metabólicas e fisiológicas ocasionadas pelo aumento ou redução da temperatura do ambiente aquático, são determinantes para organismos ectotérmicos em sistema produtivo, principalmente em relação ao consumo de alimentos (BOYD, 2000).

Nos peixes, quando fora da faixa ideal do conforto térmico, a quantidade de ração oferecida pode ser inadequada (WORKAGEGN, 2012). Para além do fato dos peixes apresentarem aproveitamento restrito do nitrogênio e fósforo para o crescimento, nas dosagens incorretas, a ração é consumida parcialmente, ocasionando perdas para o meio, e consequentemente deterioração da água, que contará com maior quantidade de material orgânico em decomposição (BOYD, 2000; LAZUR, 2007).

Diretamente relacionado à temperatura e salinidade, o oxigênio dissolvido na água representa o principal fator químico para o bom desempenho metabólico de organismos aquáticos com respiração branquial (TSADIK e KUTTY, 1987; KIM, 2017).

Com o emprego da aquicultura intensiva, com densidades de estocagem superiores, a manutenção de lotes homogêneos se torna uma grande limitação para a criação comercial menos segmentada. A competição por alimento, principalmente na fase inicial da criação, representa principal fator para a diferença no consumo e ganho de peso dos animais (EL- SAYED, 2002).

O manejo de classificação torna-se necessário quando há grandes diferenças de peso entre os animais do mesmo lote. A prática da classificação é negativa do ponto de vista do bem estar animal, uma vez que o manejo é mecânico, podendo causar queda de escamas, ferimentos que propiciam infecções bacterianas, desafios ao sistema imunológico, e alterações metabólicas que afetam o consumo de ração (YOUSEFIAN e AMIRI, 2009; KUBITZA, 2003).

A aplicação de taxas mais precisas de consumo de ração, possibilitam aplicar diferentes estratégias de arrazoamento, com frequências e quantidades diferentes, o que propicia maior homogeneidade nos lotes. As aplicações de tecnologias de precisão possibilitam o emprego de alimentadores automatizados, utilitários essenciais para a execução prática dos modelos padronizados de consumo. Para algumas espécies, existe ainda a possibilidade da alimentação noturna, como um incremento em prática viável com utilização da automação (HOSSAIN; HAYLOR; BEVERIDGE, 2001; SOUSA *et al.*, 2012).

O aperfeiçoamento dos fatores inerentes à alimentação, com ajustes constantes de consumo, leva à possibilidade de melhorar os índices zootécnicos, ao proporcionar melhores resultados em relação ao ganho de peso diário, menor tempo por ciclo, menor taxa de mortalidade na fase juvenil e demais fatores econômicos e ambientais, como a economia de ração, com menor potencial poluidor por eutrofização do ambiente aquático (PEREIRA *et al.*, 2014).

Ao apresentar características semelhantes de ectotermia, e com relevante respiração branquial, a tilápia e o tambaqui demandam temperaturas específicas e taxas adequadas de oxigênio dissolvido na água para realizar efetiva metabolização do alimento ingerido. Para tanto, o controle das condições de criação em cativeiro são essenciais para favorecer o

máximo aproveitamento da ração, de modo a gerar maior eficiência do sistema produtivo. Ao considerar os gastos com ração e acondicionamento do ambiente no sistema produtivo, a administração de tais recursos se torna de essencial importância para a competitividade do setor produtivo (CYRINO *et al.*, 2010).

Em condições específicas de hipóxia, comum em ambiente aquático amazônico, o tambaqui possui adaptações que otimizam a captação de oxigênio, como o aumento da taxa de ventilação branquial (ARAÚJO-LIMA e GOULDING, 1998). Uma adaptação morfológica observada no tambaqui é a expansão do lábio inferior, quando o nível de oxigênio fica inferior a 0.5 mg/L. Ao aumentar a superfície de contato com a formação de um edema, há maior facilidade na captação de oxigênio na camada superficial da água, onde a concentração de oxigênio dissolvido é maior (VAL; SILVA; ALMEIDA-VAL, 1998). Em cativeiro, tal adaptação representa uma vantagem para o melhor aproveitamento da metabolização da ração ofertada, em momentos de baixa concentração de oxigênio.

Sendo assim, a maior compreensão das demandas específicas por alimento, de acordo com parâmetros como temperatura e oxigênio dissolvido, são ferramentas importantes para a realização de ajustes mais precisos no manejo de arraçamento das espécies de peixes.

Com o monitoramento e ajustes, a partir da leitura, registro e formatação de banco de dados em curvas de crescimento, as atividades aquícolas podem se integrar ao conceito de precisão com a modulação do crescimento animal (CHIZZOTTI e VALENTE, 2014).

O acúmulo de dados, em série histórica das diferentes criações de espécies, em diferentes locais, pode sistematizar e mapear atividades específicas, com zoneamento de aptidões por região e condições ambientais, como ocorre no estado do Rio de Janeiro, onde nas regiões montanhosas se criam trutas, nas áreas de relevo mediano e baixo as tilápias, e nas áreas com clima de temperaturas elevadas na maior parte do ano, a criação do tambaqui é propício na região norte e noroeste do estado (IBGE, 2018).

A aquicultura nacional, embasada em uma expansão planejada, seguindo critérios de aptidão e moduladas de acordo com métricas sistematizadas de crescimento e ganho de peso, fará da atividade aquícola ainda mais técnica, profissional e competitiva num setor que apresenta crescentes demandas, principalmente aliadas à tecnologia da precisão.

Com isso, o presente trabalho teve como objetivo verificar o comportamento do ajuste dos dados para consumo alimentar (g) das espécies tilápia do Nilo e o tambaqui, aos parâmetros dos modelos de Gompertz, Von Bertalanffy, Brody e Logística, bem como determinar modelos matemáticos para estimar consumo alimentar (g) em função do tempo para tilápia do Nilo e Tambaqui.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aquicultura nacional

De acordo com a Pesquisa da Pecuária Municipal de 2018, com dados obtidos pela Rede de Coleta do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a tilapicultura representou 52,5% de toda a aquicultura nacional, tendo sido despescadas 311,5 mil toneladas em 2018, valor 9,7% a mais que no ano de 2017.

De acordo com a FAO (2018), em referência ao ano de 2016, a projeção para o ano de 2030 é de aumento de 89% na produção de pescados vindos da aquicultura. Na projeção para importação de pescados, o Brasil terá aumento de 51,9% em relação ao ano de 2016, chegando a 969 mil toneladas no ano de 2030.

Ao posicionar o Brasil como o 4º maior produtor de tilápia do mundo em 2017, o levantamento da Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXE BR, 2018) eleva as perspectivas para os próximos anos. Mesmo configurando entre os países que mais produzem pescados, o Brasil apresenta dificuldades em suprir toda a demanda interna, com cerca de US\$ 1,3 milhões todo ano de peixes importados.

Ao contrário da produção crescente da tilápia em todo o Brasil, o tambaqui apresenta queda de produção desde o ano de 2014, em que teve a máxima histórica de 139,6 mil toneladas produzidas. No ano de 2018 a produção nacional de tambaqui foi de 102,5 mil toneladas, representando 5,2% a menos em relação ao ano de 2017 e 26,5% a menos em relação ao ano de 2014 (IBGE, 2018).

De acordo com Rocha *et al.* (2013), com a balança comercial nacional de pescado em déficit desde 2006, e com o consumo nacional de pescados crescente, porém ainda abaixo do mínimo recomendado pela Organização Mundial de Saúde, que é de 12 kg por habitante por ano (FAO, 2014), o Brasil conta com cadeia produtiva estruturada e um vasto desenvolvimento tecnológico para a piscicultura.

### 2.2 Desenvolvimento na Produção de Peixes

O desenvolvimento tecnológico é essencial para reduzir o custo produtivo e melhorar a qualidade do pescado, tanto no mercado nacional quanto no externo (SCHULTER e VIEIRA FILHO, 2017). Ao considerar o setor produtivo mais organizado, com compartilhamento dos resultados e conhecimentos gerados nos processos produtivos no meio profissional, obtêm-se maiores condições de crescimento da indústria de pescado, com a redução dos custos e otimização no uso de recursos (KUBO, 2014).

A intensificação tecnológica dos cultivos pode acelerar a profissionalização da aquicultura brasileira. Atualmente, a tecnologia presente nos alimentadores automáticos é indicada como principal ferramenta para gerar impactos positivos para a atividade, por melhorar resultados e redução de custos de mão de obra, com maior gerenciamento e precisão na oferta de alimento (SCHULTER e VIEIRA FILHO, 2017).

O aumento da frequência alimentar para 24 vezes por dia, melhorou o manejo alimentar e o desempenho produtivo de tilápias do Nilo produzidas em tanque-rede, gerando economia de até 360kg de ração por tonelada de peixe produzido, sugerindo sustentabilidade econômica e menor poluição ambiental (SOUSA *et al.*, 2012).

Nos sistemas intensivos de criação, onde existem maiores densidades de estocagem e maior demanda por oxigênio, o alimento fornecido em pequeno número de refeições diárias, pode gerar maior consumo de oxigênio dissolvido no momento da ingestão, o que pode

representar fator limitante para o crescimento dos peixes que não apresentam adaptações para a hipóxia (TRAN-DUY; DAM; SCHRAMA, 2012).

### **2.3 Crescimento e Manejo de Arraçoamento**

As mudanças corporais ao longo do tempo apresentadas durante o crescimento estão diretamente relacionadas com o desenvolvimento do sistema digestório e o crescimento dos sistemas muscular e esquelético, sendo a deposição dos nutrientes consumidos em forma de tecido animal (MANSANO *et al.*, 2017).

Aplicados a uma unidade individual ou conjunta, preconiza-se como padrão semelhante de crescimento o desenvolvimento de diversas atividades produtivas, sejam elas vegetais ou animais (WIDDOWSON, 1980). O tipo de crescimento na produção animal está relacionado diretamente aos índices zootécnicos, com o acompanhamento da produção de carne, leite, ovos, gordura e demais produtos obtidos a partir da criação de animais domésticos (BRODY, 1945).

Quanto à estrutura celular, o crescimento do corpo dos animais é o resultado de dois mecanismos metabólicos distintos: hipertrofia e hiperplasia. O crescimento celular como resultado da hiperplasia ocorre ao mesmo tempo que a multiplicação celular, ocasionada pela hipertrofia. A alternância no predomínio de um dos tipos de crescimento pode ser influenciada de acordo com a idade ou etapa de desenvolvimento do animal (WIDDOWSON, 1980).

Baseando-se na quantidade e biometria dos peixes dentro do tanque, é proposta a correção quinzenal (ou semanal) da quantidade de alimento a ser fornecido de acordo com tabelas de consumo de ração elaboradas com informações de idade e peso médio dos peixes (SANDOVAL JÚNIOR; TROMBETA; MATTOS, 2010), porém entende-se que os animais crescem diariamente, então modelos não lineares que fornecem essas correções diariamente são importantes para o melhor oferecimento das dietas (PEREIRA *et al.*, 2014).

A comparação dos mesmos modelos matemáticos de regressão não linear, a duas espécies de diferentes origens, leva em consideração as possíveis discrepâncias que podem ocorrer ao aplicar a mesma abordagem de manejo alimentar para ambas as espécies. Ao considerar as diferenças biológicas, bem como as especificidades da dinâmica de crescimento das espécies, pretende-se adequar as estratégias do manejo alimentar para cada organismo aquático em seus diferentes estágios de vida.

### **2.4 Especificidades de Cada Espécie**

Com diferenças na demanda de oxigênio de acordo com a espécie, fase de desenvolvimento, estado nutricional e condições do ambiente (ARANA, 2004), o nível ideal de oxigênio dissolvido na água deve estar acima de 5 ml/L para o bom desenvolvimento das tilápias, sendo 2 mg/L o nível mínimo (BARBOSA; MOURA; SANTOS, 2010), ou ainda 108 mg O<sub>2</sub>/kg/h (KUBITZA, 1999). Por apresentar adaptações morfológicas, o tambaqui é capaz de resistir a baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água (valores próximos de 1mg/L) em temperaturas médias de 25 a 34° C (ARAÚJO-LIMA e GOMES, 2005), contudo o bom desenvolvimento é alcançado na faixa de 250 mg O<sub>2</sub>/kg/h (CAVERO; RUBIM; MARINHO-PEREIRA, 2009). Em períodos longos de exposição a condições inadequadas de oxigênio dissolvido, poderá ocorrer comprometimento no crescimento dos peixes (KUBITZA, 2000).

Dentre as linhagens de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), a variedade GIFT (Genetically Improved Farmed Tilapia) é a mais criada e estudada no mundo e no Brasil,

sugerindo-se o modelo de Gompertz para descrever a sua curva de crescimento (AMANCIO *et al.*, 2014).

Ao configurar, respectivamente, entre a primeira e segunda espécies mais produzidas no estado do Rio de Janeiro, a tilápia e o tambaqui são peixes com as características ideais para expansão da atividade aquícola no estado. Apesar da grande quantidade de informações e conhecimento técnico sobre a tilápia, muitas lacunas ainda estão presentes no que se refere ao manejo de arraçoamento ideal. Como espécie nativa, o tambaqui apresenta escassez de conhecimento técnico por ser relativamente recente o interesse em seu cultivo em ambientes artificiais. Com isso, conhecimentos básicos sobre as melhores taxas de conversão alimentar são essenciais para alcançar melhores índices zootécnicos.

Sabendo-se que a alimentação é considerada, juntamente com a mão de obra e energia elétrica, um dos fatores econômicos mais importantes para a atividade zootécnica, maiores informações técnicas são necessárias para a otimização da atividade. Mediante técnicas mais avançadas de cultivo, a maneira em que a ração é oferecida representa recurso importante para a aplicação de melhores estratégias de manejo alimentar para tilápia e tambaqui.

A simplificação de vários fatores que envolvem alimentação de peixes através de uma função matemática não é tarefa fácil, porém quanto mais próxima de uma realidade de campo uma determinada tecnologia é aplicada, mais prática será a constatação de erros e a mitigação dos mesmos, refletindo-se em ganho econômico e ambiental.

#### **2.4.1 Cultivo do Tambaqui**

Nativo do Norte do Brasil, com ocorrência natural nas bacias da Amazônia e Orinoco (JÉGU, 2003), o Tambaqui (*Collossoma macropomum*) é um peixe de água doce, pertencente à família Serrasalminidae da Ordem Characiformes (MIRANDE, 2010). Com formato do corpo redondo semelhante às piranhas, o tambaqui é o maior Characidae da América do Sul (SANTOS, 2007), e quando adulto pode alcançar porte máximo entre 90-100 cm de comprimento e peso corporal superior a 30 kg (ARAÚJO-LIMA e GOULDING, 1998; MELLO *et al.*, 2015; MARCOS, 2014; MOURAD *et al.*, 2018).

O hábito alimentar do tambaqui varia conforme o período de seu desenvolvimento, sendo inicialmente baseado a fito e zooplânctons na fase juvenil e, quando adulto, comportamento alimentar passando a onívoria, com tendência à frugivoria, baseado em frutas e sementes nas florestas inundadas de igapó e igarapé (CARVALHO, 1981; GOULDING e CARVALHO, 1982; HONDA, 1974).

Nos sistemas intensivos de criação, com densidades elevadas, é importante estabelecer uma alimentação adequada no programa de manejo, pois uma alimentação inadequada tem um impacto direto nos custos de produção (MIHELAKAKIS; TSOLKAS; YOSHIMATSU, 2002). Para tanto, é empregada ração balanceada com teores de proteína bruta que vão de 36% a 24%, de acordo com a fase de desenvolvimento (IZEL e MELO, 2004; GOMES e SILVA, 2009).

Por possuir carne de alta qualidade e conseqüente boa aceitação pelo consumidor, o tambaqui é a espécie nativa mais cultivada no Brasil com alto valor comercial (GARCEZ, 2009), além de características zootécnicas interessantes, como rusticidade e rápido crescimento (GOULDING e CARVALHO, 1982; SEVILLA e GÜNTHER 2000; SOUSA e FREITAS, 2010), principalmente na fase juvenil (VILLACORTA-CORREA, 1997; LOPERA-BARRERO *et al.*, 2011).

Apesar do avanço na criação do tambaqui, nos últimos 5 anos a produção total vem decrescendo, e ainda conta com baixa participação na aquicultura nacional, tendo no ano de 2018 participado com 17,2% da produção total (IBGE, 2018). Como forma de melhorar a cadeia produtiva de espécies nativas como o tambaqui, estudos são necessários para

aperfeiçoar o desempenho zootécnico, condições de cultivo, manejo e conseqüentemente o desenvolvimento econômico da criação (NUNES *et al.*, 2006; CHAGAS *et al.*, 2007; GOMES e SILVA, 2009; ARAÚJO-LIMA e GOMES, 2005).

De acordo com Gandra (2010), o tambaqui produzido pela piscicultura em Manaus, estado do Amazonas, é comercializado em três diferentes pesos corporais; entre 0,350 e 0,450kg, denominado tambaqui curumim; entre 0,800 e 1,5kg denominado tambaqui roelo; e com peso acima de 2,0 kg. De forma a otimizar economicamente a atividade, é ainda proposta a realização de despesca com uma mistura de peso entre 0,5kg, 1,0kg e 2,0kg, para atender a demanda do mercado consumidor e maximizar a produção de biomassa por tanque (CRAVEIRO, 2016). O desempenho do crescimento, associando ganho de peso e/ou parâmetros morfométricos ao consumo de alimentos ao longo do ciclo produtivo compõem importantes parâmetros para análises e estudos para incrementar o cultivo do tambaqui (MARCOS *et al.*, 2016; MELLO *et al.*, 2016).

A maioria dos estudos sobre o crescimento de tambaqui foram conduzidos com base na escolha de um único modelo (geralmente von Bertalanffy), ajustado ao conjunto de dados de crescimento, e a estimativa de parâmetros e inferência são baseadas nesse modelo único (ISAAC e RUFFINO, 1996; PENNA *et al.*, 2005; PETRERE, 1983). Segundo Costa *et al.*, (2013), tal procedimento desconsidera a provável incerteza relacionada à estrutura do modelo, ao assumir a existência de um padrão envolvido, mas não expressamente "verdadeiro".

Tal inferência pode não ser realista e, sendo assim, não justificada pela matemática (BUCKLAND; BURNHAM; AUGUSTIN, 1997; BURNHAM e ANDERSON, 2002; CHATFIELD, 1995). Com isso, torna-se necessário ajustar o conjunto de dados dos peixes em mais modelos (von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Brody), para comparação das equações não lineares (COSTA *et al.*, 2013).

Alguns modelos de crescimento corporal (g) através de equações não lineares foram propostos, por exemplo, o modelo que obteve o maior coeficiente de determinação e que melhor se ajustou ao método de Akaike (1974) foi a função logística ao descrever o crescimento do peso corporal e as medidas morfométricas para a idade em todos os grupos genéticos de Tambaqui (*Colossoma macropomum*) e seus híbridos (MOURAD *et al.*, 2018).

## 2.4.2 Cultivo da Tilápia

Nativa da África, Israel e Jordânia, a tilápia do nilo, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1757), pertence à família Cichlidae da ordem dos Perciformes e representa a espécie de peixe mais estudada do mundo, com 20 programas de melhoramento genético (KULLANDER, 2003; GJEDREM; ROBINSON; RYE, 2012). Pela sua alta capacidade de adaptação, mesmo em condições adversas como elevada salinidade da água, e principalmente a baixas temperaturas (CHARO-KARISA *et al.* 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2007), é a espécie de peixe mais difundida nos continentes.

Segundo dados obtidos por Yancey (1985), o tamanho máximo observado para a tilápia foi de 40 cm com peso de 3,6 kg em 75 semanas. Criadas em cativeiro, o peso de despesca é estabelecido em torno de 0,7 kg, como forma de atender os padrões de processamento na indústria (decapitação, evisceração, resfriamento) e no rendimento da carne pré-processada (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994).

A introdução da tilápia no país se deu de forma experimental e ocorreu na década de 50 com a inserção da variedade congoleza, Tilápia rendalli. No início da década de 70 na região Nordeste, houve a primeira importação oficial de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) oriunda da África ocidental. Após seus descendentes se espalharem por diversas regiões do país, em 1996 ocorre a segunda importação oficial de tilápias nilóticas da linhagem Chitralada, vindas da Tailândia.

Em 2002, inicia-se a fase industrial da tilapicultura brasileira com a chegada da linhagem nilótica GenoMar Supreme Tilápia, e depois a FishGen (Genetically Male Tilapias –GMT), variedades geneticamente melhoradas que mais se adaptaram às águas tropicais e subtropicais do Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Já em 2005 foi introduzida no Brasil a linhagem GIFT, descendente da espécie *O. niloticus* (KUBITZA, 2005), desenvolvida a partir de cepas coletadas de diferentes países da África e Ásia (BENTSEN *et al.*, 1998; EKNATH *et al.*, 2007).

Rapidamente, se tornou uma das mais produzidas no Brasil, por apresentar boas características zootécnicas como rusticidade, alta resistência a doenças, adaptação a maiores densidades de povoamento, rápido desenvolvimento, tolerância a baixos teores de oxigênio dissolvido, qualidade da carne e principalmente precocidade reprodutiva em sistemas de produção (LAHAV e RAANAN, 1997; GUPTA e ACOSTA, 2004; NOGUEIRA, 2007).

Em sua fase inicial de desenvolvimento, a tilápia nilótica apresenta hábito alimentar fitoplanctófico (TUCH, 1999; OLIVEIRA *et al.*, 2007), e quando adulta tendem à onivoria com baixa seletividade alimentar, ao ingerir detritos de matéria orgânica, moluscos, crustáceos, sementes e sedimentos do fundo de origem vegetal de diversas espécies presentes na água (MOREIRA *et al.*, 2001; EL-SAYED, 2006). Nos cultivos artificiais, a tilápia nilótica destaca pela boa aceitação às rações comerciais desde o período inicial de pós-larva até a fase de terminação (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Para alcançar o máximo potencial no manejo de arraçoamento em cada fase de desenvolvimento, Teixeira *et al.* (2004) salienta que a ração empregada na dieta deve ser formulada de modo a proporcionar o melhor balanço entre as fontes de proteínas e o conteúdo de aminoácidos essenciais. A dieta ainda deve atender as exigências nutricionais quanto à energia, lipídios, vitaminas e minerais (SILVA e SIQUEIRA, 1997).

A partir da observação de padrões diferentes de crescimento, vários estudos são dedicados a analisar as características de ganho de peso ao longo do cultivo, para atender os distintos nichos de mercado, bem como o melhor planejamento de produção e alcançar maiores ganhos econômicos (ALLAMAN *et al.*, 2013). Ao condensar dados sobre o ciclo produtivo, como um conjunto de informações biologicamente parametrizados e interpretáveis, tem-se a possibilidade de construir curvas de crescimento (LAWRENCE e FOWLER, 2002; SANTOS, 2007 QUAL?) que possibilitam melhor compreensão da atividade zootécnica, bem como a auxiliar na uniformidade dos lotes (RODRIGUES *et al.*, 2007). Segundo Pedrosa *et al.* (2010), até o ano da publicação do respectivo trabalho, eram escassos os estudos sobre as funções matemáticas aplicadas ao crescimento de tilápias em produção comercial. Para isso, tal trabalho tem o intuito de elucidar a aplicação de modelos não lineares de Brody, Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz ao crescimento dos peixes.

## **2.5 Modelagem na Piscicultura**

Melhorias na gestão da aquicultura, com a utilização de modelos matemáticos, há anos vem sendo estudado por diversos autores (LEUNG, 1986; SPARRE, 1976), com o intuito de determinar maior precisão o tempo de despesca, período de alimentação (ARNASON, 1992; BJØRNDAL, 1988; HEAPS, 1993), bem como a variação dos fenômenos digestivos e metabólicos dos animais (CORRÊA *et al.*, 2007; MAMUN, 2007). De acordo com Santos (2007), o interesse em pesquisar a morfometria em peixes é evidenciada principalmente pela relação das medidas ao peso da carcaça e do filé processado. O conhecimento gerado pelos estudos sobre o desenvolvimento de peso por idade na piscicultura é importante para melhorar a eficiência produtiva e conseqüentemente contribuir para aumentar o lucro dos produtores (FITZHUGH, 1976).

A partir do desenvolvimento e popularização dos microcomputadores, a estatística experimental como instrumento de pesquisa, tornou-se acessível e de fácil emprego nas mais diversas áreas de estudos, como química, física e biologia (SILVA, 1997). Ao viabilizar, por métodos intensivos, a avaliação de variados modelos estatísticos em pesquisas onde demanda-se a compilação de maiores quantidades de informações, permite ajustar funções que descrevam todo período de vida do animal (ROSENBLAD, 2009; SANTOS *et al.*, 2007).

Por meio de equações, onde há o agrupamento de símbolos e ligações matemáticas com um conjunto de parâmetros biologicamente interpretáveis, é possível ampliar o entendimento de fenômenos ou processos, e simular eventos reais pela modelagem matemática. Ao representar um meio prático e de baixo custo para estimar a relação entre os processos envolvidos dentro de um mesmo fenômeno, a modelagem matemática auxilia a experimentação de processos teóricos mais complexos e, a partir de dados experimentais, pode-se gerar a previsão de resultados que não poderiam ser medidos diretamente (OVIEDO-RONDÓN, 2007; ANDRETTA *et al.*, 2017). Os métodos científicos de experimentação são determinantes para a obtenção e credibilidade dos dados a serem empregados na simulação dos modelos, que ainda requerem avaliações apropriadas às metodologias estatísticas aplicadas. Para a determinação da relação existente entre as variáveis respostas e os fatores considerados nos modelos, procede-se as análises estatísticas de regressão linear, não-linear ou múltipla, para a implementação dos programas de simulação (RONDÓN; MURAKAMI; SAKAGUTI, 2002; OVIEDO-RONDÓN; POMAR; CONCEIÇÃO, 2014).

Segundo Sakomura *et al.* (2007), a maioria dos programas de formulação de dieta, não são baseadas em modelos customizados, onde deve-se levar em consideração as especificidades dos sistemas de produção. Sendo assim, o conhecimento sobre o desempenho do crescimento permite estabelecer a resposta dos animais aos diferentes ambientes de crescimento e manejo (OVIEDO-RONDÓN; POMAR; CONCEIÇÃO, 2014), bem como adotar estratégias alimentares mais precisas e que favoreçam a nutrição dos animais e a redução de impactos ambientais ocasionados pela má administração no arraçoamento (POMAR *et al.*, 2009).

## 2.6 Equações Não Lineares

Comumente aplicados para descrever a relação da idade de crescimento em animais, os modelos matemáticos como funções de crescimento não lineares, podem ser agrupadas em três categorias: curvas com comportamento de retorno decrescente (modelo Brody); formato sigmoidal e um ponto de inflexão fixo (modelos Gompertz, Logístico e von Bertalanffy); e o modelo de Richards que tem o ponto de inflexão variável de acordo com o parâmetro de forma ( $m$ ), o qual resume todas as funções anteriormente citadas (RICHARDS, 1959). Diferentemente do modelo de Brody, onde não existe ponto de inflexão, os modelos Logístico, Gompertz e von Bertalanffy exibem pontos de inflexão em cerca de 50, 37 e 30% do peso maduro (assíntota), respectivamente.

Em todas as equações apresentadas, 'Y' representa a variável dependente, sendo o peso (g) corporal do animal na idade  $t$ ; 'A' representa o valor do peso (g) maduro, ou assíntota maior; 'B' representa a taxa exponencial de aproximação ao valor assintótico maior 'A', sendo então o índice de precocidade; Válido apenas para os modelos Gompertz e Logístico, o 'T' representa a ubiquação do ponto de inflexão em relação ao tempo  $t$ , indicando o dia em que a taxa de crescimento dos peixes é máxima; 'K' sendo válido apenas para os modelos Bertalanffy e Brody, que é uma constante de integração que envolve os valores do peso ou comprimento (quando  $t$  é igual a zero) e o 'A', e 'd' representa o coeficiente de alometria obtida através do processo do ajuste da equação de relação Peso-comprimento  $P = c * Cd$ ; onde P é o peso, C é o comprimento, c é uma constante, e d é o coeficiente de alometria. O

ajuste foi realizado por meio do processo PROC NLIN do SAS. As expressões matemáticas associadas a essas funções estão detalhadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Forma geral das funções não lineares utilizadas para descrever o crescimento peso-idade.

FUNÇÃO	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
<b>Brody</b>	$Y = A * (1 - K * \exp(-B * t))$	BRODY, 1945
<b>von Bertalanffy</b>	$Y = A * (1 - K * \exp(-B * t))^d$	BERTALANFFY, 1934
<b>Logístico</b>	$Y = A * (1 + \exp(-B * (t - T)))^{-1}$	PEARL, 1930
<b>Gompertz</b>	$Y = A * \exp(-\exp(-B * (t - T)))$	TJØRVE e TJØRVE, 2017

### 2.6.1 Equação de Brody

Proposto em 1945 por Brody, tal modelo contou com a junção da equação monomolecular (exponencial côncava) e a exponencial (convexa), para formar uma curva de crescimento em forma de “S” com o intuito de estimar e descrever o crescimento da espécie humana e também para descrever o crescimento de animais de produção pecuária (FRANCE; DIJKSTRA; DHANOA, 1996).

Como característica de tal equação, Panik (2014) descreveu o modelo sendo constituído por um processo sigmoide de duas fases distintas; a fase de incremento do peso deforma exponencial com a expansão do crescimento; e a fase de declínio exponencial, com a redução do crescimento em peso no segundo momento. Ainda de acordo com Cruz (2000), tal modelo descreve o crescimento que ocorre após o ponto de inflexão, sendo bem empregado para a total quantificação do crescimento pós natal, uma vez que muitos autores consideram o nascimento como ponto de inflexão. Sendo assim, a utilização da equação  $Y=A (1 - K e^{-B t})$ , indica apenas a fase da diminuição da inclinação, sem o ponto de inflexão com a desaceleração do crescimento (KOYA e GOSHU, 2013).

### 2.6.2 Equação de von Bertalanffy

Ao utilizar um enfoque mecanístico para expressar o crescimento, Ludwig Von Bertalanffy em 1938 postulou que o ganho de peso durante o crescimento é proporcional à área de superfície do organismo, e o crescimento se apresenta como resultado do processo anabólico, e a perda de peso como produto do catabolismo (BROWN e ROTHERY, 1993). Estabeleceu-se ainda que o ponto de inflexão é aproximadamente 30% do peso assintótico ou peso final (CRUZ, 2000; PAZ, 2002; KOYA e GOSHU, 2013).

Ao representar a equação mais utilizada na literatura sobre pesca e mais estudada e aplicada na piscicultura, referida como VBGF (von Bertalanffy growth function), é o modelo de crescimento que leva em consideração a relação do tamanho da espécie à sua idade (VON BERTALANFFY, 1938). Para a adequada utilização da equação, considera-se o tipo de dado disponível. Ao realizar a parametrização para modelar o crescimento de acordo com o comprimento, tem-se  $Y = A (1 - K e^{-B t})$ , sendo uma relação alométrica. E a modelagem do crescimento de acordo com o peso, com a equação  $Y = A (1 - K e^{-B t})^3$ , sendo uma relação isométrica indicada pela Lei do Cubo. Em baixas condições de cultivo, é relatada a ineficiência do modelo de crescimento isométrico, ao utilizar apenas o peso como parâmetro de crescimento (DUMAS *et al.*, 2010; CAILLIET *et al.*, 2006; JOBLING, 2003).

### 2.6.3 Equação logística

Tendo sido criada em 1838 para descrever um modelo padronizado do crescimento populacional humano, Verlhust fundamentou-se em três suposições; que o crescimento individual é proporcional à massa corporal; que é proporcional ao substrato (referência a abundância ou escassez de alimento); e a irreversibilidade do processo de crescimento (THORNLEY e FRANCE, 2007).

Como característica da curva de crescimento deste modelo, observa-se que o ponto de inflexão ocorre quando o crescimento atinge 50% do peso ou comprimento final assintótico, sendo assim um ponto fixo próximo da metade do peso final, formando-se assim uma curva simétrica em torno do ponto de inflexão (KOYA e GOSHU, 2013).

De acordo com Pearl (1930), para a adequada aplicação deste modelo em populações humanas e de diversos animais, tem-se realizado parametrizações de forma a chegar à seguinte fórmula ajustada;  $Y = A (1 + e^{-B(t-T)})^{-1}$ . Assim como ocorre com os demais modelos, se faz necessário avaliar os ajustes de dados a modelos de crescimento a partir do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os desvios padrões das estimativas dos coeficientes, o quadrado médio do resíduo (QMR) e o número de iterações para convergência das funções.

### 2.6.4 Equação de Gompertz

Desenvolvida em 1825 por Benjamin Gompertz e originalmente derivada para estimar e descrever a taxa de natalidade e mortalidade humanas (LAIRD, 1966), a equação de Gompertz foi posteriormente utilizada para a descrição de curvas de crescimento por Winsor (1932), sendo facilmente empregada no estudo do processo de crescimento de muitas espécies.

Em seu fundamento, a curva indica que a taxa de crescimento relativo é descrita de forma exponencial, sendo a curva assimétrica em relação ao seu ponto de inflexão, com o ritmo de desenvolvimento mais lento depois de alcançado esse ponto. Como característica implícita da curva sigmóide, o ponto de inflexão ocorre quando o crescimento atinge 37% do peso ou tamanho final assintótico ou ainda, quando atinge 1/3 do tamanho máximo possível (KOYA e GOSHU, 2013).

Para a aplicação e ajuste às informações biológicas, é necessário a parametrização da equação de modo a atender as exigências encontradas na literatura. Para tanto, foi aplicado nesse trabalho a equação parametrizada;  $Y = A e^{-e^{-b(t-T)}}$ , que considera três parâmetros biologicamente interpretáveis (A, B, T), onde B é a taxa de crescimento, A também denominado 'L infinito', é o comprimento assintótico em que o crescimento é zero e T é a idade no ponto de inflexão. Sendo mais propícia nas pesquisas de modelagem de crescimento, tal equação considera que a taxa de crescimento de um organismo diminui com o tamanho, de acordo com a taxa de variação no comprimento, ou qualquer outra medida do tamanho e/ou peso (TJØRVE e TJØRVE, 2017; KIRKWOOD, 2015; FIALHO, 1999).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente procedeu-se uma seleção de modelos de crescimento corporal (g) para as espécies Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*).

O modelo de crescimento corporal adotada para tilápia do Nilo foi o de Gompertz (ZARDIN *et al.*, 2019), e o modelo de crescimento corporal adotado para tambaqui foi o Logístico (MOURAD *et al.*, 2018). As informações consideradas importantes na influência do consumo alimentar na criação de peixes como rações utilizadas, temperatura de cultivo e outros fatores de importância foram identificados para interpretação dos resultados.

A segunda revisão bibliográfica foi selecionar uma tabela de oferta de ração para todas as espécies a serem estudadas, normalmente as informações são em % em relação ao peso vivo ou biomassa no local de criação.

A tabela adotada para cálculo de oferta de ração para tilápia do Nilo foi adaptada por profissionais da Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro a partir de vários documentos (Tabela 1). A tabela para cálculo de oferta de ração para tambaqui foi adaptada pela empresa Lupus Alimentos (TOP CRIADOR Peixes®) para arraçoamento de peixes redondos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Recomendação de taxa de arraçoamento (%) para tilápia do Nilo de acordo com peso médio (g) dos peixes e temperatura da água de criação\*.

Peso médio (g)	Taxa de alimentação %	Temperatura °C
(1-5)	12,00	24-26
(5-10)	6,40	24-26
(10-20)	5,60	24-26
(20-50)	4,00	24-26
(50-70)	3,20	24-26
(70-100)	3,20	24-26
(100-150)	2,40	24-26
(150-200)	2,16	24-26
(200-300)	1,92	24-26
(300-400)	1,60	24-26
(400-500)	1,50	24-26
(500-550)	1,40	24-26
(550-700)	1,40	24-26
(700-1000)	1,00	24-26

\*Adaptada da Fundação Instituto de Pesca do estado do Rio de Janeiro.

**Tabela 3.** Recomendação de taxa de arraçoamento (%) para tambaqui de acordo com peso médio (g) dos peixes e temperatura da água de criação\*.

Peso Médio (g)	Taxa de alimentação %	Temperatura °C
0,5-2,0	18,0	26 a 30
2,0-15,0	12,0	26 a 30
15,0-200,0	9,0	26 a 30
200,0-400,0	6,0	26 a 30
400,0-800,0	3,5	26 a 30
800,0-1.000,0	2,5	26 a 30
>1.000,0	1,0	26 a 30

\*Adaptada pela empresa Lupus Alimentos (TOP CRIADOR Peixes®) para arraçoamento de peixes redondos.

As tabelas e curvas foram construídas e elaboradas a partir dos modelos encontrados e selecionados de crescimento corporal (g) e de tabelas de oferta de ração para cada espécie em estudo. No segundo momento foram feitos cálculos da ração a ser ofertada a partir do modelo de crescimento dos peixes adotando as tabelas de alimentação selecionadas. Dois cálculos foram realizados um de oferta diária e outra acumulativa. Todos os cálculos foram realizados através do Microsoft Office Excel (2007).

Esses dados foram utilizados para estimar os parâmetros de dois modelos não lineares (Gompertz para tilápia do Nilo e Logístico para tambaqui), devido a manter a qualidade estatística, foi repetido para estimar o consumo ou oferta de ração, no mesmo modelo do crescimento corporal dos peixes.

Os modelos adotados para descrever as curvas de crescimento foram de Gompertz:  $Pt = Pm e^{-e^{-b(t-t^*)}}$  e o Logístico:  $Pt = Pm / (1 + B e^{-kt})$ , em que Pt = peso (g) ao tempo t, estimado em função do Pm; Pm = peso (g) à maturidade; b = taxa de maturidade (g/dia); B = valor sem interpretação biológica; t\* = tempo (dias) em que a taxa de crescimento é máxima; t = tempo (dias); k = taxa relativa de crescimento.

As equações utilizadas para descrever a curva de consumo da dieta foram a de Gompertz,  $Ct = Cm e^{-e^{-b(t-t^*)}}$  e a Logística,  $Ct = Cm / (1 + B e^{-kt})$  em que Ct = consumo da dieta (g) pelo animal ao tempo t, expresso em função do Cm; Cm = consumo da dieta (g) à maturidade do animal; b = taxa de consumo (g/dia); t\* = tempo (dias) em que a taxa de consumo é máxima; t = tempo (dias) B = valor sem interpretação biológica; k = taxa relativa de crescimento.

Para estimar os parâmetros das equações matemáticas foi utilizado o procedimento NLIN do Sistema de Análises Estatística, SAS (2001). As estimativas dos parâmetros foram obtidas por método iterativo de Gauss-Newton, método modificado, desenvolvido por Hartley (1961), para modelos não-lineares.

Avaliadores de ajustes foram adotados para verificar a qualidade dos modelos e os critérios utilizados são: coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>); interpretação biológica e a distribuição dos resíduos studentizados, usada para detectar pontos discrepantes, em geral, considera-se uma observação marginalmente discrepante se  $|Rti^*| > 3$  (LEMONTE, 2008).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

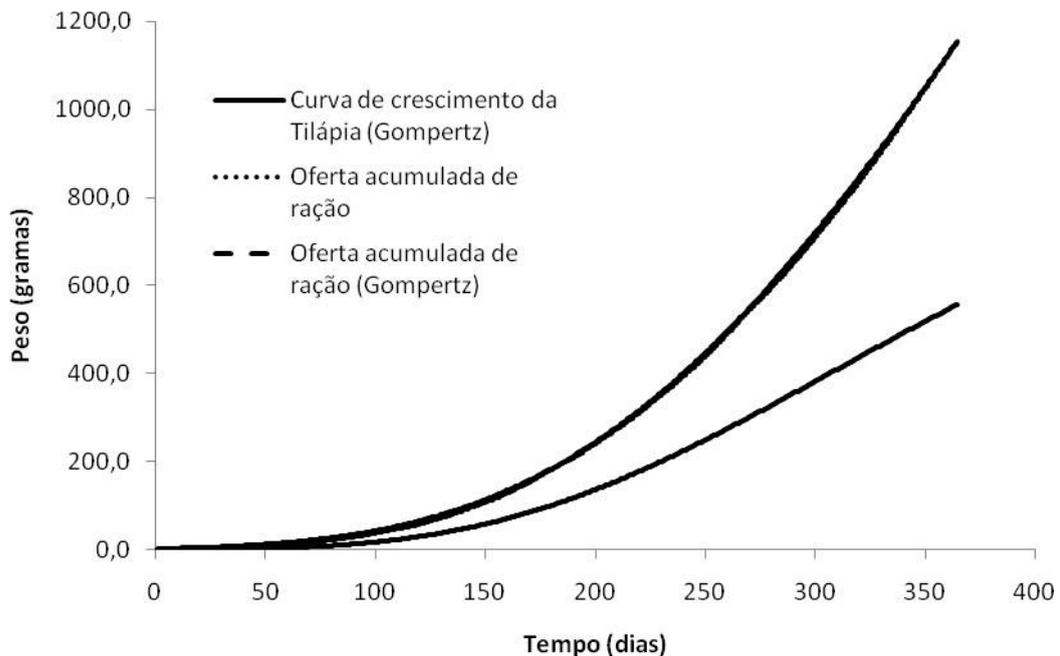
Os valores estimados para crescimento corporal para tilápia do Nilo (ZARDIN *et al.*, 2019) e consumo ou oferta acumulada de ração para modelo de Gompertz se mostraram adequados quanto a interpretação biológica dos valores (Tabela 3). O  $R^2$  foi de 0,9622 para a estimativa do consumo ou oferta de ração para tilápia do Nilo.

**Tabela 4.** Valores estimados para as equações de Gompertz para crescimento da tilápia do Nilo e oferta de ração.

Parâmetro	Pm ou Cm (g)	b	t*
Crescimento*	1.100,00	0,0068	308,0
Consumo ou oferta de ração	4.353,80	0,0047	425,1

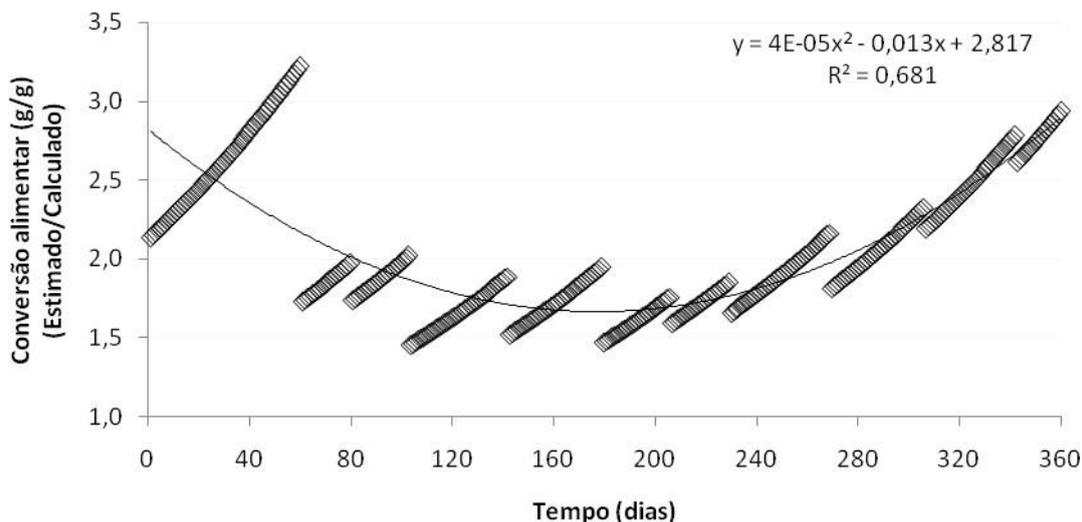
Pm = peso (g) à maturidade; b = taxa de maturidade (g/dia); t\* = tempo (dias) em que a taxa de crescimento é máxima; t = tempo (dias); Cm = consumo da dieta (g) à maturidade do animal.  
\*Valores estimados por Zardin *et al.*, 2019.

A partir da curva de crescimento para tilápia do Nilo através do modelo de Gompertz foi calculada a oferta de ração diária e com isso uma curva com valores acumulados foi obtida e depois esses valores foram base para estimar o consumo ou oferta de ração através do modelo de Gompertz (Figura 1).



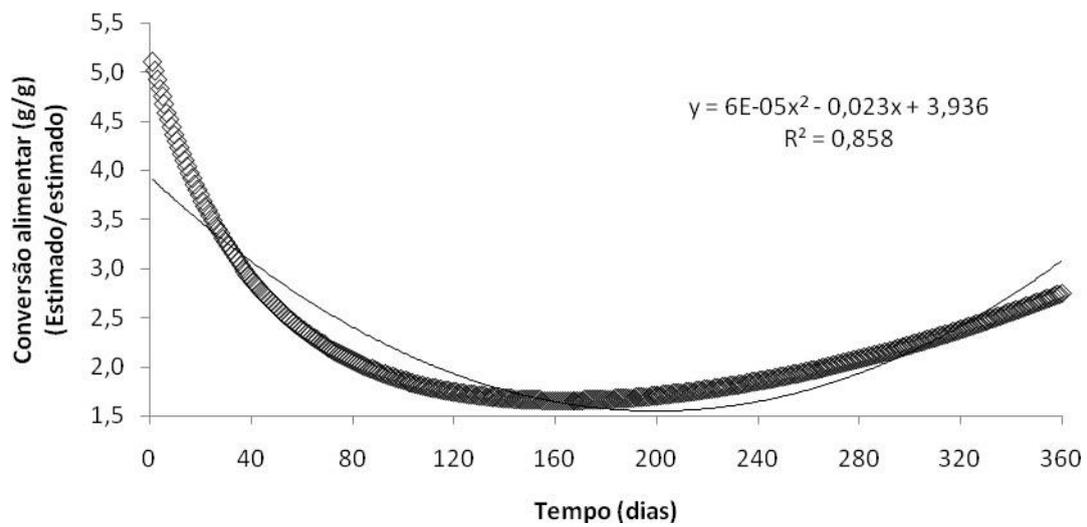
**Figura 1.** Curva para crescimento de tilápia do Nilo estimado pelo modelo de Gompertz (ZARDIN *et al.*, 2019), curva de oferta de ração para tilápia do Nilo (calculada) e curva de oferta de ração para tilápia do Nilo estimada pelo modelo de Gompertz.

Uma ferramenta para verificar adequação de um modelo para consumo ou oferta de ração é verificar estimativa de conversão alimentar. Estimativa de conversão alimentar para tilápia do Nilo a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Gompertz e dos valores calculados para oferta de ração, apresentaram valores acima de 2 g/g no início e no final do crescimento dos animais (Figura 2) e os valores se agruparam como se fossem fases do crescimento.



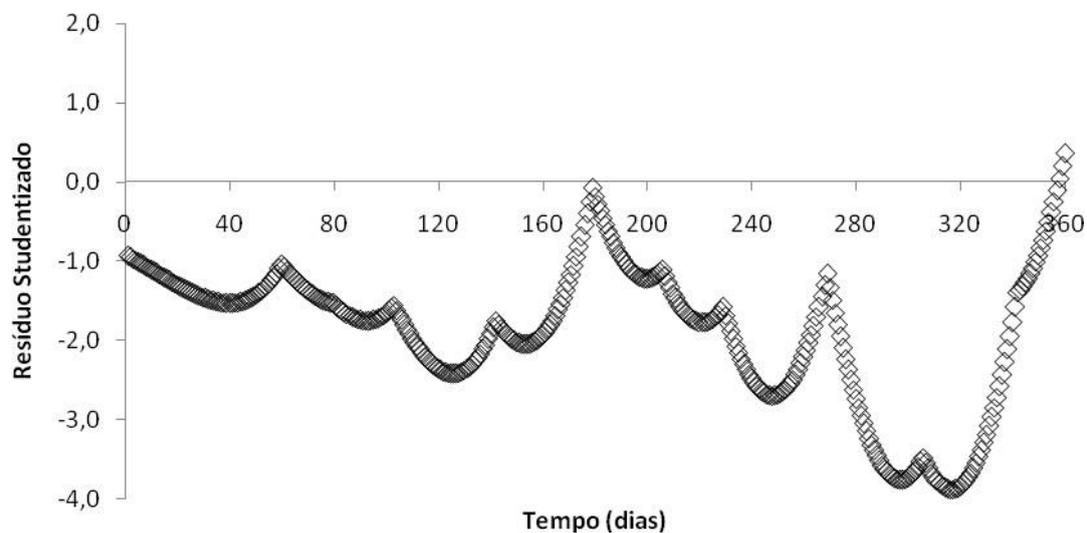
**Figura 2.** Estimativa de conversão alimentar para tilápia do Nilo a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Gompertz e dos valores calculados para oferta de ração.

Estimativa de conversão alimentar para tilápia do Nilo a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Gompertz e dos valores também estimados para oferta de ração, apresentaram valores acima de 2 g/g no início e no final do crescimento dos animais (Figura 3) porém os valores de conversão alimentar se apresentaram sequenciais. A conversão alimentar da tilápia do Nilo varia conforme a fase de criação, mas segue de 1,1 até 2,0 g/g em geral (LOGATO, 2000).



**Figura 3.** Estimativa de conversão alimentar para tilápia do Nilo a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Gompertz e dos valores estimados pelo modelo de Gompertz para oferta de ração.

Os valores dos resíduos Studentizados confirmam que há uma possibilidade do uso deste recurso para estimar a oferta e o consumo alimentar das tilápias do Nilo, porém os valores foram superestimados e apresentaram *outliers* na parte final das curvas (Figura 4).



**Figura 4.** Valores de resíduos studentizados calculados para estimativas do modelo de Gompertz para oferta de ração para tilápia do Nilo.

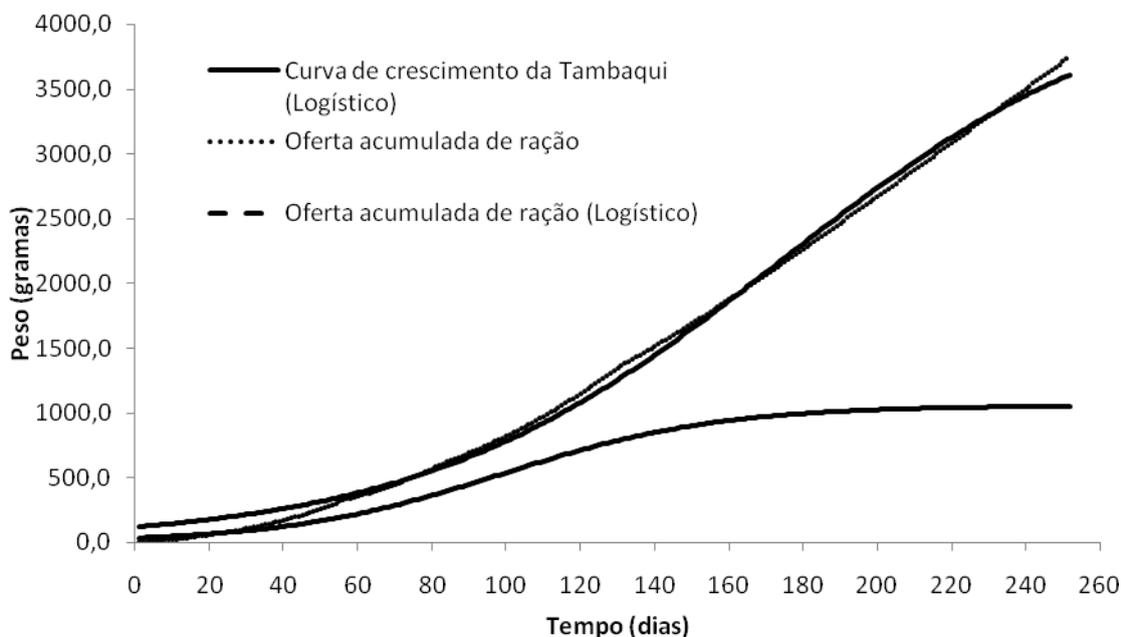
Os valores estimados para crescimento corporal para tambaqui (MOURAD *et al.*, 2018) e consumo ou oferta acumulada de ração para modelo de Logístico se mostraram adequados quanto a interpretação biológica dos valores (Tabela 4). O  $R^2$  foi de 0,9845 para a estimativa do consumo ou oferta de ração para tambaqui.

**Tabela 5.** Valores estimados para as equações do modelo Logístico para crescimento da tambaqui e oferta de ração.

Parâmetro	Pm ou Cm	B	k
Crescimento (g)*	1.056,0	29,57	0,0343
Consumo ou oferta de ração (g)	4.339,9	35,24	0,0205

Pm = peso (g) à maturidade; B = valor sem interpretação biológica; k = taxa relativa de crescimento. Cm = consumo da dieta (g) à maturidade do animal, \*valores estimados por Mourad et al., 2018.

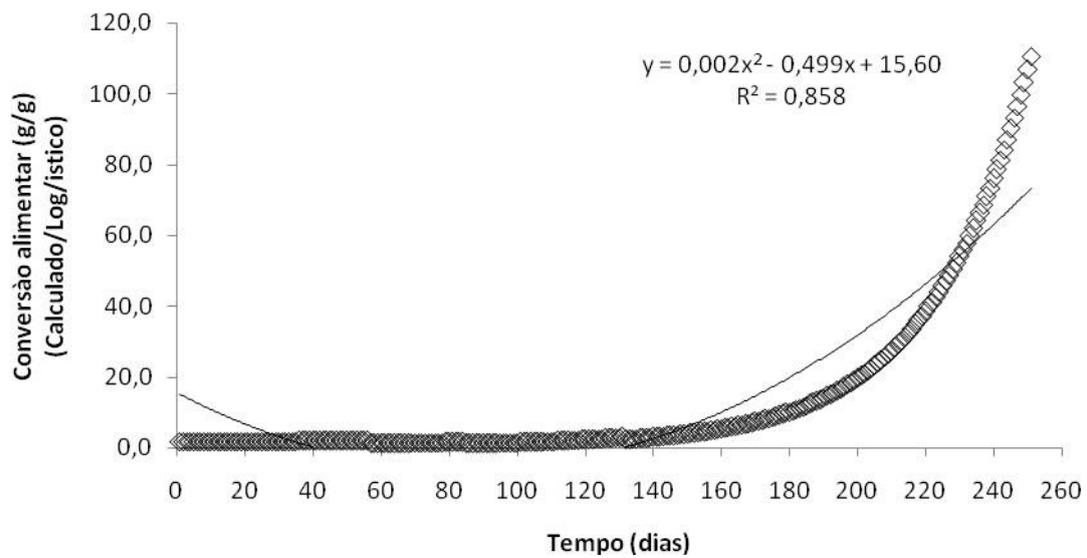
A partir da curva de crescimento para tambaqui através do modelo Logístico foi calculada a oferta de ração diária e com isso uma curva com valores acumulados foi obtida e depois esses valores foram base para estimar o consumo ou oferta de ração através do modelo Logístico (Figura 5). Os valores calculados para consumo ou oferta de ração se assemelham com o estimado pelo modelo Logístico.



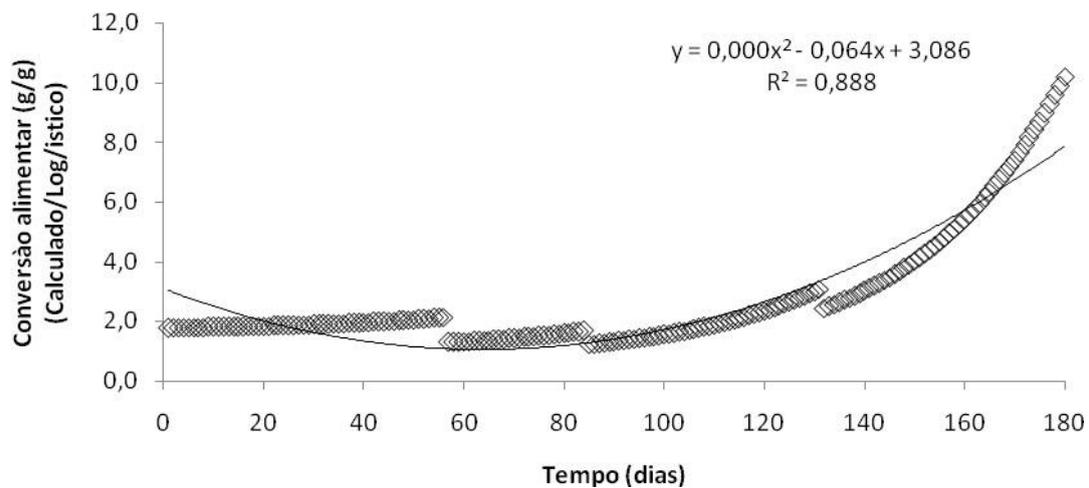
**Figura 5.** Curva para crescimento de tambaqui estimado pelo modelo Logístico (MOURAD *et al.*, 2018), curva de oferta de ração para tambaqui (calculada) e curva de oferta de ração para tambaqui estimada pelo modelo Logístico.

A conversão alimentar estimada apresentou valores muito discrepantes e com isso foi necessário apresentar dois cenários, sendo até 260 dias de criação do tambaqui (Figura 6 e 8) e até 180 dias (Figura 7 e 9). A conversão alimentar do tambaquia varia de 1,5 a 2,5 g/g de acordo com a fase de crescimento (LOGATO, 2000).

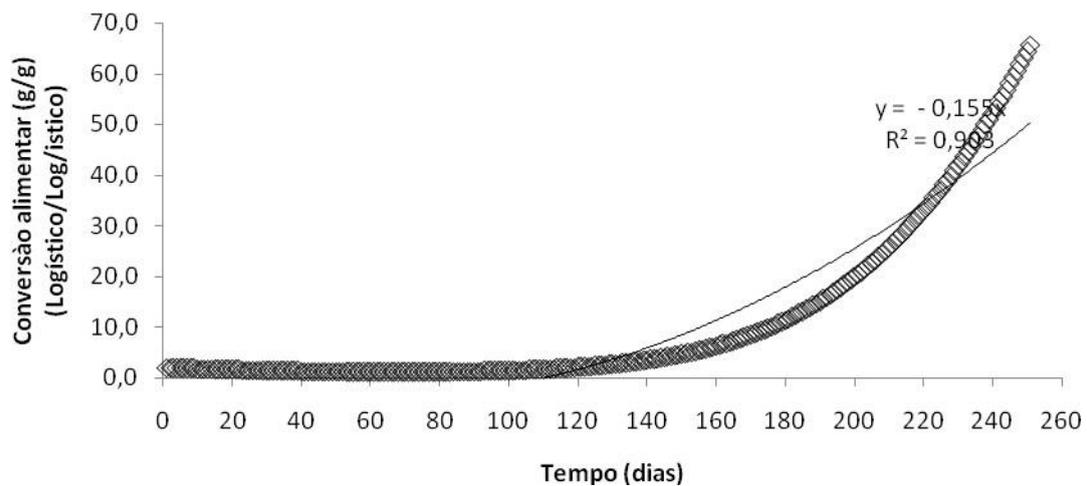
Houve uma superestimativa dos valores de conversão alimentar nas fase final ao adotar o modelo Logístico ao apresentar valores fora de realidade de campo no Brasil.



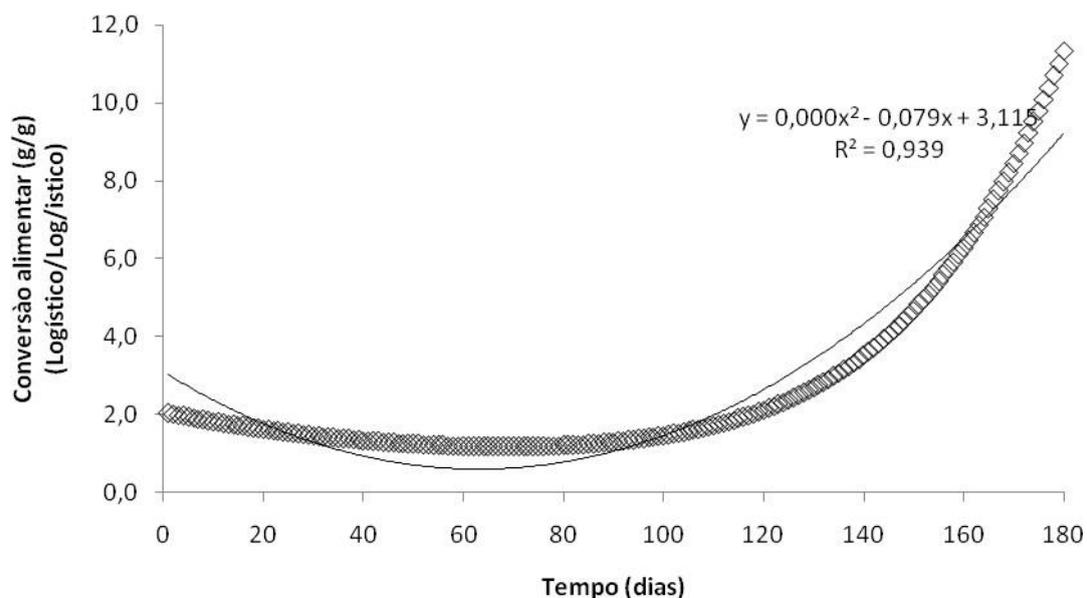
**Figura 6.** Estimativa de conversão alimentar para tambaqui a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Logístico e dos valores calculados para oferta de ração até 252 dias.



**Figura 7.** Estimativa de conversão alimentar para tambaqui a partir dos valores estimados para crescimento (g) pelo modelo de Logístico e dos valores calculados para oferta de ração até 180 dias.

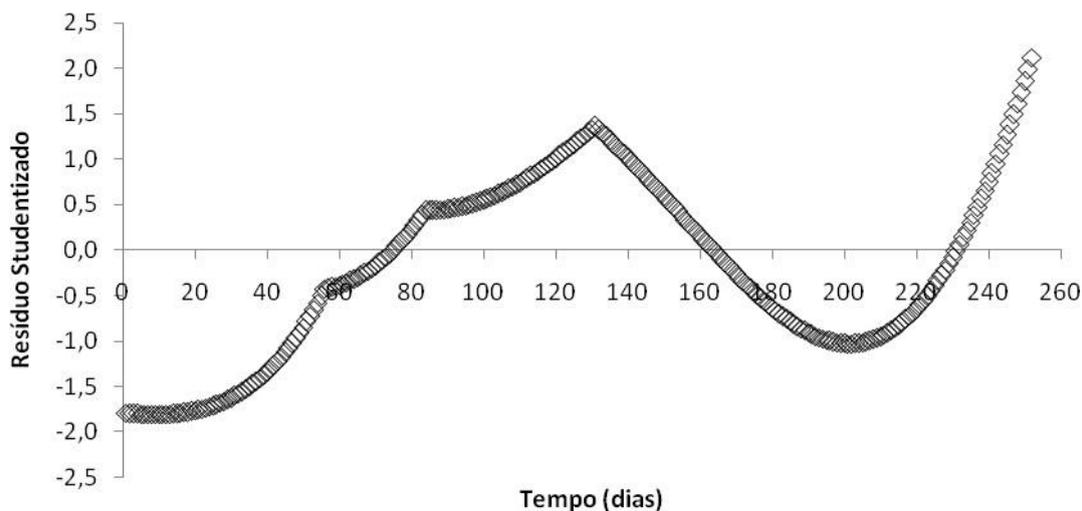


**Figura 8.** Estimativa de conversão alimentar para tabaqui a partir do valores estimados para crescimento (g) pelo modelo Logístico e dos valores estimados pelo modelo Logístico para oferta de ração até 252 dias.



**Figura 9.** Estimativa de conversão alimentar para tabaqui a partir do valores estimados para crescimento (g) pelo modelo Logístico e dos valores estimados pelo modelo Logístico para oferta de ração até 180 dias.

Os valores dos resíduos Studentizados para consumo ou oferta de ração para tabaqui através do modelo Logístico foram adequados dentro das possibilidade e não apresentou *outliers*. Os resíduos não devem seguir uma tendência, devem sub ou super estimar os valores de forma que não apareça *outliers* ou que somente segue um tendência para cima ou para baixa no eixo X do gráfico (MANSANO *et al.*, 2012).



**Figura 10.** Valores de resíduos studentizados calculados para estimativas do modelo Logístico para oferta de ração para tambaqui.

Importante salientar que os resultados encontrados na literatura, para trabalhos que visaram encontrar equações que representam o crescimento, podem variar dentre as diversas espécies e das condições adotadas (HOTA, 1994).

A escolha de um modelo de crescimento adequado é importante, uma vez que pode ter efeito decisivo sobre os resultados de uma simulação de um modelo de dinâmica ecológica. Por exemplo, o modelo Logístico é indicado para descrever o crescimento em períodos curtos de tempos (dias e meses) e em ambientes que possuam algum controle como a nutrição (GAMITO, 1998), no caso dos peixes de corte o tempo é considerado curto.

O conjunto adotado de avaliadores de ajustes foi satisfatório para auxiliar na tomada de decisão da escolha do melhor modelo estudado. Critérios de avaliação para seleção de um modelo adequado devem ser bem adotados, pois informações dadas pelos avaliadores de qualidade de ajuste podem indicar qual modelo é o mais apropriado para descrever o crescimento corporal de uma população (SILVA; AQUINO; OLIVEIRA, 2002; MENDES *et al.*, 2009; SILVEIRA *et al.*, 2011), a interpretação biológica neste trabalho mostrou como é importante essa avaliação.

Em animais não submetidos a restrições alimentares, a relação do peso com a idade ou o tempo, resulta numa curva de crescimento com característica sigmoideal, consistindo em três partes diferenciadas: uma fase inicial acelerada, uma fase intermediária linear e uma fase de desaceleração final quando o animal atinge a maturidade. A taxa de crescimento (ganho de peso por unidade de tempo, geralmente em g ou kg dia<sup>-1</sup>) varia com a idade, aumentando durante a fase acelerada até atingir um máximo na fase intermediária, em que é relativamente constante. Na última fase, a taxa de crescimento diminui progressivamente até zero, quando o animal atinge o corpo maduro ou peso assintótico (LÓPEZ, 2008), esse item final relatado, é que pode levar aos modelos superestimarem valores a serem oferecidos aos animais, e levar a números altíssimos de conversão alimentar ao final do ciclo.

O crescimento dos animais é determinado pelo acréscimo de massa dos componentes ou nutrientes corporais (água, proteínas, gorduras, minerais) e uma pequena quantidade de outros (glicogênio, etc.). O crescimento de componentes corporais e a eficiência com o qual os nutrientes são convertidos, são afetados por fatores endógenos (espécies, genética e fase de vida) e exógenos (composição da dieta, ambiente de criação, etc). Os modelos não lineares de crescimento e os processos de deposição de nutrientes em peixes, têm contribuído para

formulação de dietas para os mesmos (PEREIRA *et al.*, 2015), e se os mesmos, ao serem ajustados para oferecimento da ração aos peixes, aumentará a eficiência de produção.

## 5 CONCLUSÕES

Modelos matemáticos como a equação de Gompertz e Logístico podem ser utilizados para estimar consumo ou oferta de ração para tilápia do Nilo e tambaqui, porém é necessário rigor nos critérios de avaliação e ajustes.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716-723, dez. 1974. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tac.1974.1100705>.

ALLAMAN, I. B.; REIS, N. R. V.; FREITAS, R. T. F.; FREATO, T. A.; LAGO, A. A.; COSTA, A. C.; LIMA, R. R., Weight and morphometric growth of different strains of tilapia (*Oreochromis sp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 5, p. 305-311, maio 2013. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982013000500001>.

AMANCIO, A. L. L.; SILVA, J. H. V.; FERNANDES, J. B. K.; SAKOMURA, N. K.; CRUZ, G. R. B. Use of mathematical models in the study of bodily growth in GIFT strain Nile tilapia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 257-266, jun. 2014. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902014000200005>.

ANDRETTA, I.; HAUSCHILD, L.; KIPPER, M.; PIRES, P. G. S.; POMAR, C. Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. **Animal**, v.12, n. 9, p. 1-9, 4 dez. 2017. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s1751731117003159>.

ARANA, L. A. V. **Fundamentos de Aquicultura**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004. 349p.

ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; GOMES, L. C. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. de C. (Org.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Santa Maria: Ed. da UFSM, p. 175-202. 2005.

ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; GOULDING, M. **Os frutos do tambaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia**. Tefé, AM: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília CNPq-MCT. 1998. 186p.

ARNASON, R. Optimal Feeding Schedules and Harvesting Time in Aquaculture. **Marine Resource Economics**, v. 7, n. 1, p. 15-35, abr. 1992. University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.1086/mre.7.1.42629021>.

BARBOSA, A. C. A.; MOURA, E. V.; SANTOS, R. V. **Cultivos de tilápias em gaiolas**. Natal, RN: Governo do Estado do Rio Grande do Norte. Secretaria da Agricultura, da Pecuária e da Pesca. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), 2010. 32p. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/EMPARN/DOC/DOC000000000024667.PDF>

BENTSEN, H. B., EKNATH, A. E., PALADA-DE VERA, M. S., DANTING, J. C., BOLIVAR, H. L., REYES, R. A., DIONISIO, E. E., LONGALONG, F. M., CIRCA, A. V., TAYAMEN, M. M., GJERDE, B., Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 160, n. 1-2, p. 145-173, jan. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(97\)00230-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(97)00230-5).

BERTALANFFY, L. VON. Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeit des Wachstums. I. Allgemeine Grundlagen der Theorie: Mathematische und physiologische Gesetzmäßigkeiten des Wachstums bei Wassertieren. **Wilhelm Roux Arch Entwickl Mech Org**, v.131, n.4, p.613- 653, 1934.

- BJØRNDAL, Trond. Optimal Harvesting of Farmed Fish. **Marine Resource Economics**, v.5, n. 2, p. 139-159, jan. 1988. University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.1086/mre.5.2.42628926>.
- BOYD, C. E. **Water Quality, An Introduction**. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.2000. 330 p. <http://dx.doi.org/10.1007 / 978-1-4615-4485-2>
- BRODY, S. **Bioenergetics and Growth**. 1 ed. New York: Rheinhold Publishing, 1023p.1945.
- BROWN, D.; ROTHERY, P. **Models in Biology**: Mathematics, Statistics and computing. England: John Wiley and Sons; Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore. 688p.1993.
- BUCKLAND, S. T.; BURNHAM, K. P.; AUGUSTIN, N. H. Model selection: An integral part of inference, **Biometrics**, v. 53, p. 603-618, 1997.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D.R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. Nova York: Springer. 2002. 488 p.
- CAILLIET, G. M.; SMITH, W. D.; MOLLET, H. F.; GOLDMAN K. J. Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. **Environmental Biology of Fishes**, v.77, p.211-228. 2006. <https://doi.org/10.1007/s10641-006-9105-5>
- CARVALHO, M. L. Alimentação do tambaqui jovem *Colossoma macropomum* (Cuvier,1818) e sua relação com a comunidade zooplancônica do lago Grande de Manaquiri, Solimões – AM. Tese de doutorado. INPA/FUA. 90p. 1981.
- CAVERO, B. A. S.; RUBIM, M. A. L.; MARINHO-PEREIRA, T. **Criação comercial do tambaqui, *Colossoma macropomum*** (Cuvier, 1818). In: TAVARES-DIAS, M. Manejo esanidade de peixes em cultivo [eBook]. Embrapa Amapá, p.33-46. 2009.
- CHAGAS, E. C.; GOMES, L. C.; MARTINS JÚNIOR, H.; ROUBACH, R. Produtividade de tambaqui criado em tanque-rede com diferentes taxas de alimentação. **Ciência Rural**, v. 37,n. 4, p. 1109-1115, ago. 2007. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782007000400031>.
- CHARO-KARISA H.; REZK M. A.; BOVENHUIS. H.; KOMEN, H. Heritability of cold tolerance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, juveniles. **Aquaculture**, v. 249, n. 1-4, p.115-123, set. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.029>.
- CHATFIELD, C., Model Uncertainty, Data Mining and Statistical Inference. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (statistics In Society)**, v. 158, n. 3, p. 419, 1995. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/2983440>.
- CHIZZOTTI, M. L.; VALENTE, E. E. L. Zootecnia de precisão: Uso de sensores na fazenda para maximizar a produtividade. In. XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2014, Vitória –ES. **Anais**. Vitória: ZOOTEC, 2014.
- CONTRERAS-GUZMÁN, E. S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNEP,1994. 409p.
- CORRÊA, C. F.; AGUIAR, L. H.; LUNDSTEDT, L. M.; MORAES, G., Responses of digestive

enzymes of tambaqui (*Colossoma macropomum*) to dietary cornstarch changes and metabolic inferences. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 147, n. 4, p. 857-862, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.12.045>.

COSTA, L. R. F.; BARTHEM, R. B.; ALBERNAZ, A. L.; BITTENCOURT, M. M. e VILLACORTA-CORREA, M. A., Modelling the growth of tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) in floodplain lakes: model selection and multimodel inference. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 2, p. 397-403, maio 2013. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-69842013000200021>.

CRAVEIRO, J. **Modelo de gestão para criação de espécies amazônicas em sistema semi-intensivo: um estudo de caso tambaqui (*Colossoma macropomum* CUVIER, 1818)**. Tesede doutorado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos. Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM. 2016.

CRUZ, G. R. B. **Aplicação de modelos matemáticos no ajuste da curva de crescimento de caprinos no estado da Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal da Paraíba. 2000. 84p.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A. J. A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J. K. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 68-87, jul. 2010. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982010001300009>.

DUMAS, A.; FRANCE, J.; BUREAU, D. 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.

EKNATH, A. E., BENTSEN, H. B., PONZONI, R. W., RYE, M., NGUYEN, N. H., THODESEN, J., GJERDE, B., Genetic improvement of farmed tilapias: composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding. **Aquaculture**, v. 273, n. 1, p. 1-14, nov. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.015>.

EL-SAYED, A. Basic Biology. In: EL-SAYED, A. **Tilapia Culture**. Ed Cabi, United Kingdom. Cap. 2, p. 25-29, 2006.

EL-SAYED, A. M. Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. **Aquaculture Research**, v. 33, n. 8, p. 621-626, jul. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00700.x>.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura e Organização Mundial da Saúde. International introductions of inland aquatic species, Roma, 1988.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura e Organização Mundial da Saúde. **The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and Challenges**, 243 p. 2014.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura e Organização Mundial da Saúde. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018: Meeting the sustainable development goals**. Rome. 2018, 211p.

FIALHO, F. B. Interpretação da curva de crescimento de Gompertz. **Comunicado Técnico**, Concórdia: Embrapa-CNPASA,, n. 237, p. 1–4, 1999.

FITZHUGH, H. A.. Analysis of Growth Curves and Strategies for Altering Their Shape. **Journal of Animal Science**, v. 42, n. 4, p. 1036-1051, 1 abr. 1976. Oxford University Press(OUP). <http://dx.doi.org/10.2527/jas1976.4241036x>.

FRANCE. J.; DIJKSTRA J.; DHANOA M. S. Growth functions and their application in animal science. **Annales de zootechnie**, INRA/EDP Sciences, v. 45, , p.165-174, 1996.

GAMITO, S. Growth models and their use in ecological modelling: an application to a fish population. **Ecological Modelling**, v.113, p. 83-94, 1998.

GANDRA, A. L. **O mercado de pescado da região metropolitana de Manaus**. INFOPESCA, p. 84, 2010.

GARCEZ, R. C. S. **Distribuição espacial da pesca no lago grande de Manacapuru (Amazonas) - bases para subsidiar políticas de sustentabilidade para a pesca regional**.2009. 93 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Amazonas/UFAM, Manaus, 2009.

GJEDREM, T.; ROBINSON, N.; RYE, M. The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: a review. **Aquaculture**, v. 350-353, p.117-129, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.008>.

GOMES, L. C.; SILVA, C. R. Impact of pond management on tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier), production during growth-out phase. **Aquaculture Research**, v. 40,n. 7, p. 825-832, abr. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02170.x>.

GOULDING M.; CARVALHO M. L. Life history and management of the tambaqui(*Colossoma macropomum*, Characidae): an important amazonian food fish. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 1, n. 2, p. 107-133, 1982. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-81751982000200001>.

GUPTA, M.V.; ACOSTA, B.O. From drawing board to dining table: The success story of the GIFT project. **NAGA, WorldFish Center Quarterly**, v. 27, n. 3,4, jul-dec 2004.

HARTLEY, H.O. The Modified Gauss-Newton Method for the Fitting of Non-Linear Regression Functions by Least Squares. **Technometrics**, 3, 269-280. 1961. <https://doi.org/10.1080/00401706.1961.10489945>

HEAPS, Terry. The Optimal Feeding of Farmed Fish. **Marine Resource Economics**, v. 8, n.2, p. 89-99, jul. 1993. University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.1086/mre.8.2.42629053>.

HONDA, E. M. S. Contribuição ao conhecimento da biologia de peixes do Amazonas. II - Alimentação de tambaqui, *Colossoma bidens* (Spix). **Acta Amazonica**, v. 4, n. 2, p. 47-53, ago. 1974. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921974042047>.

HOSSAIN, M. A. R.; HAYLOR, G. S.; BEVERIDGE, M. C. M. Effect of feeding time and frequency on the growth and feed utilization of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell1822) fingerlings. **Aquaculture Research**, v. 32, n. 12, p. 999-1004, dez. 2001. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00635.x>.

HOTA, A.K. Growth in amphibians. **Gerontology**, v. 40, n. 2, p.147-160, 1994. HUA, K.; BIRKETT, S.; DE LANGE, C.F.M.; BUREAU, D.P. Adaptation of a nonruminant nutrient-based growth model to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). **Journal of Agricultural Science**, v. 148, p. 19-27, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Pesquisa pecuária Rio de Janeiro**, RJ, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/pesquisa/18/16459>> Acesso em: 18 mai. 2020.

ISAAC, V. J.; RUFFINO, M. L. Population dynamics of tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon, Brazil. **Fisheries Management and Ecology**, v. 3, n. 4, p.315-333, dez. 1996. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2400.1996.d01-154.x>.

IZEL, A. C. U.; MELO, L. A. S. Criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros no estado do Amazonas. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, n. 32: 19p. 2004.

JÉGU, M. Subfamily Serrasalminae (Pacus and piranhas). In: REIS, R.E.; KULLANDER, S.O.; FERRARIS, C.J., Jr. (Org.). Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003. p. 182-196.

JOBLING, M. The thermal growth coefficient (TGC) model of fish growth: a cautionary note, **Aquaculture Research**, v. 34, p. 581-584, 2003.

KIM, T.N.T. **Feeds, water quality, gut morphology and digestion in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)**. Wageningen University. 2017.

KIRKWOOD, T. B. L. Deciphering death: a commentary on Gompertz (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 B: Biological Sciences**, v. 370, n. 1666, p. 1-8, 19 abr. 2015. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0379>.

KOYA, P. R.; GOSHU, A. T. Generalized Mathematical Model for Biological Growths. **Open Journal of Modelling and Simulation**, v. 01, n. 4, p. 42-53, 2013. Scientific Research Publishing, Inc., <http://dx.doi.org/10.4236/ojmsi.2013.14008>.

KUBITZA, F. **Qualidade da água na produção de peixes**. 3. ed. Jundiaí: Degaspari. 97p. 1999.

KUBITZA, F., **Qualidade de água no cultivo de peixes e camarões**. 1. ed., Jundiaí, 2003. 229p.

KUBITZA, F. Tilápia em água salobra e salgada: Uma boa alternativa de cultivo para estuários e viveiros litorâneos. **Panorama da Aquicultura**, Laranjeiras, v.15, n. 88, p. 14-18, mar./abr., 2005.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. 1. ed. Jundiaí, 2000. 285p.

KUBO, E. Pescados e derivados. In: MADI, L. F.; REGO, R. (Org.). **Sustentabilidade e sustentação da produção de alimentos no Brasil: agroindústria de alimentos**. Brasília: CGEE, 2014. Cap. 5, v. 4, p. 75-84.

KULLANDER, E. Family Cichlidae (Cichlids). In: REIS, R.E.; KULLANDER, S.O.; FERRARIS, C.J., Jr. (Org.). **Check list of the freshwater fishes of South and Central America**. Porto Alegre:

EDIPUCRS, 2003. p. 182-196.

LAHAV, E., RAANAN, Z. Salinity tolerance of genetically produced tilapia (*Oreochromis*) hybrids. **Israel Journal of Aquaculture**, v. 49, n. 3, p. 160-165, 1997.

LAIRD A. K. Postnatal growth of birth and mammals. **Growth**. v. 30, p. 349-363, 1966.

LAWRENCE, T. L. J.; FOWLER, V. R. **Growth of farm animals**. 2 ed. New York: CAB International, 2002. 384 p.

LAZUR A. **JISFAN Gold Aquaculture Practices Program: growout pond and water quality management**. University of Maryland, College Park, MD, USA. 2007.

LEMONTE, A. J. Diagnóstico em regressão normal linear: princípios e aplicação. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 26, p.7-26, 2008.

LEUNG, P. Applications of systems modeling in aquaculture. **Aquacultural Engineering**, v.5, n. 2-4, p. 171-182, jan. 1986. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0144-8609\(86\)90015-4](http://dx.doi.org/10.1016/0144-8609(86)90015-4).

LOGATO, P.R.P. **Nutrição e Alimentação de Peixes de Água Doce**. Aprenda Fácil Editora, Viçosa, 2000. 115p.

LOPERA-BARRERO M. N.; RIBEIRO R. P.; POVH J. A.; MENDES L. D. V.; POVEDA-PARRA A. R. **Produção de organismos aquáticos: Uma visão geral do Brasil e no Mundo**. Editora Agro livros, Guaíba, RS. 2011. 320p.

LÓPEZ, S. Non-linear functions in animal nutrition. In: FRANCE, J.; KEBREAB, E. **Mathematical modelling in animal nutrition**. Cambridge: CABI, 2008, p. 47-88.

MAMUN, Shamsuddin Mohammed; FOCKEN, Ulfert; BECKER, Klaus. Comparison of metabolic rates and feed nutrient digestibility in conventional, genetically improved (GIFT) and genetically male (GMNT) Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 148, n. 1, p.214-222, set. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2007.04.007>.

MANSANO, C. F. M.; MACENTE, B. I.; KHAN, K. U.; NASCIMENTO, T. M.T.; SILVA, E.P.; SAKOMURA, N. K.; FERNANDES, J. B. K. Morphometric growth characteristics and body composition of fish and amphibians. **New Insights into Morphometry Studies**, p. 7-28, 12 jul. 2017. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69061>.

MANSANO, C. F. M.; STÉFANI, M. V.; PEREIRA, M. M.; MACENTE, B. I. Non-linear growth models for bullfrog tadpoles. **Ciência e Agrotecnologia** v. 36, p. 454-462, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000400010>

MARCOS, R. **Desempenho zootécnico de tambaquis (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818) da primeira geração de seleção genética para ganho de peso**. 2014. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, Cuiabá, 2014.

MARCOS, R.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; OLIVEIRA, C. A. L.; RIBEIRO, R. P.; LOPERA-BARRERO, N. M.; CORRÊA FILHO, R. A. C.; ABREU, J. S.; MURARI, P. J. F. Weight gain and morphometric growth of genetically improved tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 41, p. 2521-2528, set. 2016. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4supl1p2521>.

MELLO, F.; OLIVEIRA, C. A. L.; RIBEIRO, R. P.; RESENDE, E. K.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; BARRETO, R.; MCMANUS, C.; STREIT, D. Growth curve by Gompertz nonlinear regression model in female and males in tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 4, p. 2309-2315, 27 nov. 2015. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201520140315>.

MELLO, F., OLIVEIRA, C. A. L., STREIT, JR., D., RESENDE, E. K., OLIVEIRA, S. N., FORNARI, D. C., BARRETO R. V.; POVH, J. A. e RIBEIRO, R. P. Estimation of genetic parameters for body weight and morphometric traits to tambaqui *Colossoma macropomum*. **Journal of Fisheries Sciences**. 10, 96–100. 2016.

MENDES, P.N.; MUNIZ, J.A.; SILVA, F.F.; MAZZINI, A.R.A., SILVA, N.A.M. Análise da curva de crescimento difásica de fêmeas hereford por meio da função não linear de Gompertz. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, n. 2, p. 454-461, 2009.

MIHELAKAKIS, A.; TSOLKAS, C.; YOSHIMATSU, T. Optimization of Feeding Rate for Hatchery-Produced Juvenile Gilthead Sea Bream *Sparus aurata*. **Journal of The World Aquaculture Society**, v. 33, n. 2, p. 169-175, jun. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00491.x>.

MIRANDE, J. M. Phylogeny of the family Characidae (Teleostei: characiformes). **Neotropical Ichthyology**, v. 8, n. 3, p. 385-568, 2010. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-62252010000300001>.

MOREIRA, H. L. M.; VARGAS, L.; RIBEIRO, R. P.; ZIMMERMANN, S. **Fundamentos da moderna aquicultura**. 1. ed. Porto Alegre RS: Editora DA Universidade Luterana do Brasil, v. 1, 2001. 205p.

MOURAD, N. M. N.; COSTA, A. C.; FREITAS, R. T. F.; SERAFINI, M. A.; REIS NETO, R. V.; FELIZARDO, V. O. Weight and morphometric growth of Pacu (*Piaractus mesopotamicus*), Tambaqui (*Colossoma macropomum*) and their hybrids from spring to winter. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 544-550, mar. 2018. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-4808>.

NOGUEIRA, A. C. **Criação de tilápias em tanques rede**. Salvador: SEBRAE, 2007. 23 p.

NUNES, E. S.; CAVERO, B. A.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R. Enzimas digestivas exógenas na alimentação de juvenis de tambaqui. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 139-143, jan. 2006. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2006000100019>.

OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. S.; PEREIRA, A. M. L.; LIMA, C. B. Produção de tilápia: mercado, espécie, biologia e recria. **Circular Técnica**, n. 45. Teresina: Embrapa Meio Norte/MAPA, 2007. 12 p.

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; POMAR, C.; CONCEIÇÃO, L. E. C. Modelagem na nutrição de monogástricos. In: SAKOMURA, N. K. et al. (org.). **Nutrição de Não Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2014. p. 595-614.

OVIEDO-RONDÓN, Edgar O.. Modelagem por compartimentos para integrar e comunicar conhecimento em nutrição. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n., p. 305-313, jul. 2007. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982007001000028>.

PANIK, M. J. **Growth Curve Modeling: Theory and Applications**. 1 ed. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ. 2014. p.454.

PAZ, C. C. P. **Associação entre polimorfismos genéticos e parâmetros da curva de crescimento em bovinos de corte**. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagem). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PEARL, R. *Biology of population growth*, 1 ed, Knopf, New York, 1930. p.260. PEDROSA, R. U.;

OLIVEIRA, A. S.; RODRIGUES, M. L., FURTADO, D. A.; SILVA, D. A.; CAMPOS, V. M. Aplicação de modelos matemáticos no ajuste da curva de crescimento de tilápia do Nilo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, 2010.

PEIXE BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2018. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2018.

PENNA, M. A. H.; VILLACORTA-CORRÊA, M.A.; WALTER, T.; PETRERE-JUNIOR, M. Growth of the tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) (Characiformes: characidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 65, n. 1, p. 129-139, fev. 2005. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-69842005000100017>.

PEREIRA, M. M.; MANSANO, C. F. M.; PERUZZI, N. J.; STÉFANI, M. V. Nutrient deposition in bullfrogs during the fattening phase. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 41, n. 2, p. 305 – 318, 2015.

PEREIRA, M. M.; MANSANO, C. F. M.; SILVA, E. P.; STÉFANI, M. V. Growth in weight and of some tissues in the bullfrog: fitting nonlinear models during the fattening phase. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 6, p. 598-606, dez. 2014. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542014000600009>.

PETRERE, M. Yield per recruit of the Tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Amazonas State, Brazil. **Journal of Fish Biology**, v. 22, n. 2, p. 133-144, fev. 1983. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1983.tb04733.x>.

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; ZHANG, G. -H.; POMAR, J.; LOVATTO, P. A. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operation. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 226- 237, 2009 <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009001300023>

RICHARDS, F. J.. A Flexible Growth Function for Empirical Use. **Journal Of Experimental Botany**, v. 10, n. 2, p. 290-301, 1959. Oxford University Press (OUP).

<http://dx.doi.org/10.1093/jxb/10.2.290>.

ROCHA, C. M. C.; RESENDE, E. K.; ROUTLEDGE, E. A. B.; LUNDSTEDT, L. M. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 8, p. 1-6, ago. 2013. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2013000800iii>.

RODRIGUES, M. L.; LIMA, S. L.; MOURA, O. M.; AGOSTINHO, C. A.; SILVA, J. H. V.; CRUZ, G. R. B.; CAMPOS, V. M.; CASALI, A. P.; MENDES, R. R. B.; ALBUQUERQUE, A. G. Curva de crescimento em rã-touro na fase de recria. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 56, n. 214, p. 125-136, 2007.

RONDÓN, E. O. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem Computacional para Produção e Pesquisa em Avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, n. 1, p.199-207, jan. 2002. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-635x2002000100001>.

ROSENBLAD, A. B. F. J. Manly: randomization, bootstrap and monte carlo methods in biology, third edition. **Computational Statistics**, v. 24, n. 2, p. 371-372, 21 abr. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00180-009-0150-3>.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição demonogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007. 283p.

SANDOVAL JÚNIOR, P.; TROMBETA, T. H.; MATTOS, O. B. **Manual de criação de peixes em tanques-rede**. Brasília.Codevasf, 2010. 69p.

SANTOS, V. B.; FREITAS, R. T. F.; SILVA, F. F.; FREATO, T. A. Avaliação de curvas de crescimento morfométrico de linhagens de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1486-1492, out. 2007. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542007000500032>.

SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. **Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia**. Rio de Janeiro: Ipea, 2017. (Texto para Discussão, n. 2328). <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.26250.57289>

SEVILLA, A.; GÜNTHER, J. Growth and Feeding Level in Pre-Weaning Tambaqui *Colossoma macropomurn* Larvae. **Journal of The World Aquaculture Society**, v. 31, n. 2, p. 218-224, jun. 2000. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00356.x>.

SILVA, A.L.N.; SIQUEIRA, A. T. **Piscicultura em tanques-rede: princípios básicos**. Recife: SUDENE:UFRPE- Imprensa Universitária, 1997. 72p.

SILVA, F.F.; AQUINO, L.H.; OLIVEIRA, A.I.G. Estimativas de parâmetros genéticos de curva de crescimento de gado nelore (*Bos indicus*). **Ciência e Agrotecnologia**, Edição Especial, p. 1562-1567, 2002.

SILVA, J. G. C. **Estatística Experimental: Planejamento de experimentos**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. 1997 <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20225.25440>

SILVEIRA, F.G.; SILVA, F.F.; CARNEIRO, P.L.S.; MALHADO, C.H.M. Classificação multivariada de modelos de crescimento para grupos genéticos de ovinos de corte. **Revista**

**Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 1, p. 62-73, 2011.

SOUSA, R. G. C.; FREITAS, C. E. C. Seasonal catch distribution of tambaqui (*Colossoma macropomum*), Characidae in a central Amazon floodplain lake: implications for sustainable fisheries management. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 27, n. 1, p. 118-121, 20 ago. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01521.x>.

SOUSA, R. M. R.; AGOSTINHO, C. A.; OLIVEIRA, F. A.; ARGENTIM, D.; NOVELLI, P. K.; AGOSTINHO, S. M. M. Productive performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed at different frequencies and periods with automatic dispenser. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 64, n. 1, p. 192-197, fev. 2012. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-09352012000100027>.

SPARRE, P. A Markovian decision process applied to optimization of production planning in fish farming Meddr. Danm. Fisk. **Havunders**, n. 7, p. 111–197, 1976.

TEIXEIRA, E.A.; RIBEIRO, L.P.; CREPALDI, D.V. et al. Exigências de aminoácidos para alevinos de tilápia do Nilo estimadas com base no conceito de proteína ideal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. 41, 2004. Campo Grande. Resumos... Campo Grande. Sociedade Brasileira de Zootecnia. 2004 (cd-rom).

THORNLEY, J. H. M.; FRANCE, J. Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. 2 ed. Wallingford: CABI, 2007. 906p.

TJØRVE, K. M. C.; TJØRVE, E. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: an addition to the unified-richards family. **Plos One**, v. 12, n. 6, p. 01-17, 5 jun. 2017. Public Library of Science (PLOS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0178691>

TRAN-DUY, A.; DAM, A. A. V.; SCHRAMA, J. W. Feed intake, growth and metabolism of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to dissolved oxygen concentration. **Aquaculture Research**, v. 43, n. 5, p. 730-744, 3 maio 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02882.x>.

TSADIK, G.; KUTTY, M. N. Influence of ambient oxygen on feeding and growth of Tilapia, (*Oreochromis niloticus*) ARAC/87/WP/10. **United Nation Development Programme, Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Nigerian institute for oceanography and marine research project RAF/87/009. 1987. 13p.

TUCH, D. L. **Planejamento orçamentário**: SEBRAE/SP. Série piscicultura. 1999. p. 32.

VAL, A. L.; SILVA, M. N. P.; ALMEIDA-VAL, V. M. F. Hypoxia adaptation in fish of the Amazon: a never-ending task. **South African Journal of Zoology**, v. 33, n. 2, 1998. p. 107- 114.

VILLACORTA-CORREA, M. A., **Estudo de idade e crescimento do tambaqui *Colossoma macropomum* (Characiformes, Characidae) no Amazonas Central, pela análise de marcas sazonais nas estruturas mineralizadas e microestruturas nos otólitos**. Tese de Doutorado. INPA/FUA, Manaus, Amazonas. 217p. 1997.

WIDDOWSON, E. M. Definitions of growth. In: **Growth in Animals** Ed T. L. J. Butterworth,

London. 1980. p. 1-9.

WINSOR, C. P.. **The Gompertz Curve as a Growth Curve**. Proceedings Of The National Academy of Sciences, v. 18, n. 1, p. 1-8, 1 jan. 1932. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.18.1.1>.

WORKAGEGN, K. B. Evaluation of Growth Performance, Feed Utilization Efficiency and Survival Rate of Juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) Reared at Different Water Temperature. **International Journal of Aquaculture**, v. 2, n. 1, p. 59-64, jan. 2012. Sophia Publishing Group, Inc.. <http://dx.doi.org/10.5376/ija.2012.02.0009>.

YANCEY, D. R. **Manual de criação de peixes**. 2 ed. Campinas-SP: Fundação Cargill, 1985.p. 110.

YOUSEFIAN, M.; AMIRI, M.S. A review of the use of prebiotic in aquaculture for fish and shrimp. **African Journal of Biotechnology**, 8:7313-7318, 2009

ZARDIN, A. M. S. O.; OLIVEIRA C. A. L.; OLIVEIRA S. N.; YOSHIDA G. M.; ALBUQUERQUE D. T.; CAMPOS C. M.; RIBEIRO P. R. Growth curves by Gompertz nonlinear regression model for male and female Nile tilapias from different genetic group. **Aquaculture**, v. 511. P. 734243, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734243>