

Plano de Trabalho 04 (Discente)

Título do Plano de Trabalho: **Estimativa do erro em diferentes métodos de pesagem do Tambaqui (*Colossoma macropomum*)**

Coordenador: Carlos Antônio Zarzar (carlos.zarzar@ufopa.edu.br)

Data de realização do projeto: 2026.1 até 2027.1

Resumo

As biometrias são procedimentos fundamentais para o monitoramento do crescimento e avaliação do desempenho zootécnico em aquicultura, porém podem causar estresse aos animais, especialmente quando realizadas com alta frequência ou envolvendo manipulação extensiva. A necessidade de otimizar o tempo de manejo e reduzir o estresse dos peixes tem motivado a busca por métodos alternativos de estimativa de peso que minimizem a manipulação individual dos animais. A pesquisa tem como objetivo estimar o erro associado a diferentes métodos de mensuração de peso em juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) cultivados em sistema RAS em diferentes densidades de estocagem (50, 100, 200, 300, 400 e 500 peixes/caixa), durante 120 dias. Três métodos serão comparados: (1) pesagem individual de todos os indivíduos da amostra (método padrão); (2) estimativa do peso médio por amostragem coletiva; e (3) pesagem do peso úmido através da submersão dos indivíduos (e amostra coletiva) no recipiente com água tarada previamente. Serão calculados o erro percentual médio absoluto (MAPE), erro médio quadrático (RMSE), viés e coeficiente de determinação (R^2) para cada método. Espera-se identificar métodos alternativos que mantenham acurácia adequada para fins de manejo comercial, reduzindo o tempo de biometria e o estresse dos animais, contribuindo para o bem-estar animal e a eficiência operacional em sistemas de produção de tambaqui.

Palavra-chave: Amostragem; Biometria; Manejo de peixes; Métodos alternativos; Validação de métodos.

Introdução / Justificativa

As biometrias são procedimentos essenciais na aquicultura para monitoramento do crescimento, ajuste das taxas de alimentação, avaliação do desempenho zootécnico e estimativa da biomassa para fins comerciais (Gómez-Márquez et al., 2003). Tradicionalmente, a pesagem individual de todos os peixes de uma população é considerada o método mais preciso, fornecendo informações completas sobre a distribuição de tamanhos e o crescimento individual dos animais (Navarro et al., 2006).

Entretanto, a manipulação frequente dos peixes durante biometrias pode causar estresse agudo e crônico, resultando em imunossupressão, maior susceptibilidade a doenças, redução temporária do crescimento e, em casos extremos, mortalidade (Berka, 1986; Pickering e Pottinger, 1989). O estresse induzido por manejo é particularmente crítico em cultivos intensivos com altas densidades, onde a captura e manipulação de centenas ou milhares de indivíduos demandam tempo considerável e aumentam o risco de injúrias físicas (Iversen et al., 2003), além de custos operacionais maiores quando ocupa-se por

muito tempo de operação os funcionários de uma empresa para a realização de uma específica atividade por muito tempo.

Métodos alternativos de estimativa de peso têm sido propostos e validados para diversas espécies de peixes, incluindo amostragem estatística (pesagem de uma fração representativa da população) e estimativa através de relações peso-comprimento. A amostragem por subgrupos permite reduzir significativamente o tempo de manejo e o estresse dos animais, desde que o tamanho amostral seja suficiente para fornecer estimativas com precisão aceitável (Omasaki et al., 2016). A estimativa de peso através de equações alométricas peso-comprimento é ainda menos invasiva, exigindo apenas a mensuração do comprimento dos animais, medida que pode ser obtida rapidamente com menor manipulação (Dos Santos et al., 2024). Tais modelos alométricos possibilitam o desenvolvimento de tecnologias não invasivas, escaláveis e precisas para quantificar a biomassa dos peixes através de visão computacional (Ramírez-Coronel et al., 2024).

Para o tambaqui (*Colossoma macropomum*), apesar de sua importância comercial, existem poucos estudos comparando a acurácia de diferentes métodos de estimativa de peso em condições de cultivo intensivo. A densidade de estocagem pode influenciar a variabilidade de tamanhos dentro da população (coeficiente de variação), afetando a precisão dos métodos de amostragem e estimativa (Santos et al., 2021). Em densidades elevadas, onde a competição por alimento pode ser mais intensa, espera-se maior heterogeneidade de tamanhos, potencialmente reduzindo a acurácia de métodos baseados em amostragem.

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de validar métodos práticos de estimativa de peso que possam ser aplicados em cultivos comerciais de tambaqui, reduzindo o tempo de manejo, os custos operacionais e o estresse dos animais, sem comprometer significativamente a precisão das informações zootécnicas necessárias para a tomada de decisões de manejo.

Objetivos

Objetivo Geral

Estimar o erro associado a diferentes métodos de pesagem de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) cultivados em sistema RAS.

Objetivos Específicos

1. Comparar a acurácia de três métodos de estimativa de peso: pesagem individual dos peixes, pesando uma amostra coletiva com sua média e pesando a amostra submersa na água (tarando o recipiente com água antes da aferição);
2. Calcular os erros percentuais médios absolutos (MAPE), erro médio quadrático (RMSE) e viés para cada método;
3. Analisar a relação entre o coeficiente de variação das amostras e o erro dos métodos de amostragem;
4. Recomendar protocolos de biometria otimizados para cultivo comercial de tambaqui.

Metodologia

Delineamento experimental

O estudo será conduzido utilizando juvenis de tambaqui cultivados em sistema RAS com seis diferentes densidades de estocagem (50, 100, 200, 300, 400 e 500 peixes/caixa de 500 L), durante 120 dias. Biometrias quinzenais fornecerão dados para comparação dos métodos.

Métodos de pesagem avaliados

Método 1: Pesagem Individual Total (método padrão)

Todos os indivíduos de cada caixa serão pesados individualmente. Equipamento utilizado será uma Balança digital de precisão (0,01 g). Este método fornecerá os valores reais de peso médio e biomassa total. Será considerado o método de referência para comparação.

Método 2: Amostragem coletiva (média da pesagem coletiva)

Uma subamostra com 10 indivíduos será pesado de forma coletiva. Os peixes serão capturados aleatoriamente em diferentes pontos da caixa (tanque). Peso médio será calculado com base na biomassa total da amostra dividida pelo número de indivíduos na amostra. Serão estimados o erro com base na metodologia 1 descrita anteriormente para a mesma amostragem.

- Estatísticas:
 - $\text{Peso médio estimado} = \text{Biomassa total da amostra} / n_{\text{amostra}}$
 - $\text{Biomassa total estimada} = \text{Peso aferido da amostra coletiva}$
 - $\text{Estimativa do erro} = [\Sigma(\text{pesos individuais amostra}) / n_{\text{amostra}}] - \text{Peso médio estimado};$
 - $\text{Erro padrão} = DP / \sqrt{n}$

Método 3: Estimativa por Amostras individuais do peso úmido submerso no recipiente

Medição do peso úmido será realizado por submersão do animal em um recipiente com água previamente tarada na balança de precisão. Então será avaliado o peso individual úmido do método 1 com o peso úmido submerso do método 3. Além disso também será realizado a pesagem da amostra coletiva dos indivíduos também submergidos no recipiente previamente tarados na balança de precisão. Então será calculado a estimativa de erro das amostras do método 3 (individual e coletiva) com a aferição do peso através do método 1.

Coleta de dados

Em cada biometria quinzenal:

1. **Método 1:** Pesagem e medição de todos os indivíduos da amostra um a um;
2. **Método 2:** Amostragem coletiva da mesma amostra calculando a média;

3. **Método 3:** Medição do peso úmido através da imersão do animal no recipiente tarado.

Indicadores de precisão calculados

1. Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE)

$$\text{MAPE} = (1/n) \times \sum |(\text{Valor estimado} - \text{Valor real}) / \text{Valor real}| \times 100$$

2. Erro Médio Quadrático (RMSE)

$$\text{RMSE} = \sqrt{[(1/n) \times \sum (\text{Valor estimado} - \text{Valor real})^2]}$$

3. Viés (Bias)

$$\text{Viés} = (1/n) \times \sum (\text{Valor estimado} - \text{Valor real})$$

Viés positivo indica superestimação; negativo indica subestimação.

4. Coeficiente de Determinação (R²)

$$R^2 = 1 - [\sum (\text{Valor real} - \text{Valor estimado})^2 / \sum (\text{Valor real} - \text{Média real})^2]$$

5. Intervalo de Confiança (95%) Para o método de amostragem:

$$\text{IC} = \text{Média} \pm (t \times \text{EP})$$

Onde t é o valor crítico da distribuição t de Student e EP é o erro padrão.

Análise de variabilidade

Coeficiente de Variação (CV)

$$\text{CV} = (\text{Desvio padrão} / \text{Média}) \times 100$$

O CV será calculado para cada densidade e correlacionado com o erro dos métodos.

Análise estatística

- Comparação dos erros entre métodos: ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$)
- Correlação de Pearson entre CV e erros dos métodos
- Análise de regressão: erro em função da densidade de estocagem
- Teste de concordância de Bland-Altman para comparação entre métodos
- Gráficos de dispersão: valores estimados vs. valores reais

CrITÉRIOS de aceitação

Os métodos alternativos serão considerados aceitáveis para fins comerciais se:

- $\text{MAPE} < 10\%$
- $R^2 > 0,90$
- $\text{Viés} < 5\%$ do valor real
- Intervalo de confiança de 95% não exceder $\pm 10\%$ do valor real

Software

Análises serão realizadas em software R (R Core Team, 2024), utilizando pacotes específicos para análise de concordância, validação de métodos e visualização de dados.

Habilidades Adquiridas

Durante a realização das atividades propostas, o discente terá adquirido competências amplas que envolvem aspectos metodológicos, estatísticos, computacionais, aplicados, de pesquisa e profissionais, com foco na validação e aprimoramento de técnicas utilizadas na aquicultura. No campo das habilidades metodológicas, será capaz de aplicar técnicas de amostragem estatística em populações de peixes, utilizar métodos de validação e comparação de técnicas analíticas, executar protocolos de biometria e mensuração, adotar procedimentos para minimizar o estresse durante o manejo e estruturar delineamentos experimentais voltados a estudos de validação metodológica.

No que se refere às habilidades estatísticas avançadas, o discente aprenderá a calcular e interpretar métricas de erro, como MAPE, RMSE e viés, aplicar análises de concordância entre métodos (como o teste de Bland-Altman), determinar tamanhos amostrais adequados, avaliar precisão e acurácia de métodos, construir intervalos de confiança e realizar testes de hipóteses. Além disso, será capaz de empregar simulações estatísticas e técnicas de reamostragem, bem como desenvolver análises de correlação e regressão para suporte à tomada de decisão.

No âmbito das habilidades computacionais, o estudante dominará o uso da linguagem R para análises estatísticas, manipulará grandes conjuntos de dados, construirá visualizações avançadas, como gráficos de dispersão, Bland-Altman e box-plots, aplicará simulações computacionais e desenvolverá scripts para automatizar cálculos, otimizando processos de análise.

Em relação aos conhecimentos aplicados, compreenderá a variabilidade biológica em populações, os princípios da amostragem representativa e o impacto do erro de medição e sua propagação nos resultados. Também entenderá os métodos de estimativa indireta e será capaz de avaliar o trade-off entre precisão e praticidade em situações de manejo comercial, conciliando rigor científico e aplicabilidade prática.

Nas habilidades de pesquisa, o discente realizará revisões críticas da literatura sobre métodos de biometria, desenvolverá análises comparativas entre diferentes metodologias, interpretará resultados com base em perspectivas práticas, elaborará recomendações técnicas fundamentadas em evidências e redigirá textos científicos voltados à validação metodológica.

Por fim, no desenvolvimento das competências profissionais, será estimulado a exercer pensamento crítico em relação aos métodos de trabalho, otimizar processos, avaliar o custo-benefício de diferentes abordagens, adotar rigor científico na validação de métodos, comunicar resultados tanto para públicos técnicos quanto acadêmicos e manter uma postura consciente em relação ao bem-estar animal durante os procedimentos de manejo.

Referências

GÓMEZ-MÁRQUEZ, J. L. et al. Reproductive aspects of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at coatetelco lake, morelos, mexico. *Revista de biologia tropical*, v. 51, n. 1, p. 221-228, 2003.

NAVARRO, Ana et al. Estimates of heritabilities and genetic correlations for growth and carcass traits in gilthead seabream (*Sparus auratus* L.), under industrial conditions. *Aquaculture*, v. 289, n. 3-4, p. 225-230, 2009.

BERKA, Rudolf et al. The transport of live fish: a review. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1986.

PICKERING, A. D.; POTTINGER, Tom G. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish physiology and biochemistry*, v. 7, n. 1, p. 253-258, 1989.

IVERSEN, Martin et al. The efficacy of metomidate, clove oil, Aqui-S™ and Benzoak® as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. *Aquaculture*, v. 221, n. 1-4, p. 549-566, 2003.

OMASAKI, S. K. et al. Genotype by environment interaction for harvest weight, growth rate and shape between monosex and mixed sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v. 458, p. 75-81, 2016.

DOS SANTOS, Carlos Patrick Tavares et al. Perspectivas de mercado para o tambaqui (*Colossoma macropomum*) de até 500 gramas cultivados na área metropiltana de Santarém. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales (RCCS)*, v. 13, n. 12, p. 9, 2024.

RAMÍREZ-CORONEL, Fernando Joaquín et al. Non-Invasive Fish Biometrics for Enhancing Precision and Understanding of Aquaculture Farming through Statistical Morphology Analysis and Machine Learning. *Animals*, v. 14, n. 13, p. 1850, 2024

SANTOS, Fabio AC et al. Growth performance and physiological parameters of *Colossoma macropomum* in a recirculating aquaculture system (RAS): Importance of stocking density and classification. *Aquaculture*, v. 534, p. 736274, 2021.

R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Cronograma de Atividades

Atividades	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Revisão bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aquisição de materiais	X	X										
Montagem do sistema RAS	X	X										
Coleta de dados nas biometrias		X	X	X	X	X						
Aplicação dos três métodos		X	X	X	X	X						
Registro detalhado de dados		X	X	X	X	X						
Cálculos preliminares de erros			X	X	X	X						

Relatório parcial				X			
Organização do banco de dados	X	X	X	X	X		
Cálculo de métricas de erro (MAPE, RMSE)		X	X	X	X	X	
Análises de concordância				X	X	X	
Simulações de tamanho amostral						X	X
Análise estatística comparativa						X	X
Preparação de resumo para congresso					X		
Participação em congresso							X
Redação do relatório final							X
Entrega do relatório final							X