

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta tese  
será disponibilizado somente a partir  
de 30/03/2024.

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

**Estudos genéticos de características de crescimento e  
rendimento corpóreo por meio da análise de imagens em  
pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**

**Milena Vieira de Freitas**

**Bióloga**

**Jaboticabal, São Paulo**

**2022**

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

**Estudos genéticos de características de crescimento e  
rendimento corpóreo por meio da análise de imagens em  
pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**

**Milena Vieira de Freitas**

**Orientador: Pro. Dr. Diogo Teruo Hashimoto**

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

**Jaboticabal, São Paulo**

**2022**

F866e Freitas, Milena Vieira  
Estudos genéticos de características de crescimento e rendimento corpóreo por meio da análise de imagens em pacu (*Piaractus mesopotamicus*) / Milena Vieira Freitas. -- Jaboticabal, 2022  
xvii, 101 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2022

Orientador: Diogo Teruo Hashimoto  
Banca examinadora: Liane Bassini, Fabio Porto Foresti, Luciana Shiotsuki, Ricardo Utsunomia  
Bibliografia

1. Genética animal. 2. Melhoramento genético. 3. Peixes. 4. Rendimento. 5. Inteligência artificial. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3:636.082

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** Estudos genéticos de características de crescimento e rendimento corpóreo por meio da análise de imagens em pacu (*Piaractus mesopotamicus*)

**AUTORA:** MILENA VIEIRA DE FREITAS

**ORIENTADOR:** DIOGO TERUO HASHIMOTO

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



Prof. Dr. DIOGO TERUO HASHIMOTO (Participação Virtual)

Laboratório de Genética / Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal-SP



Prof. Dr. RICARDO UTSUNOMIA (Participação Virtual)

Departamento de Genética / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Rio de Janeiro-RJ



Pesquisadora LUCIANA SHIOTSUKI (Participação Virtual)

Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas-TO



Prof. Dr. Fábio Porto Foresti

Departamento de Ciências Biológicas / Faculdade de Ciências de Bauru - UNESP



Profa. Dra. LIANE NEY BASSINI (Participação Virtual)

Universidad Andrés Bello, Santiago-Chile

Jaboticabal, 30 de março de 2022

## DEDICATÓRIA

*A minha mãe Tereza F. Vieira e minha irmã Fabiana Vieira  
Que sempre me apoiaram durante a minha caminhada*

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 88882.433852/2019-01.

Primeiramente agradeço a Deus por ter cuidado de mim durante todo esse período e ter me dado forças para enfrentar as dificuldades que apareceram no meu caminho.

Agradeço imensamente a minha mãe, Tereza, que mesmo com todas as dificuldades sempre se dedicou a conseguir o melhor para a minha formação e estudos. Agradeço por ela sempre ter acreditado em mim, principalmente quando eu mesma mais duvidei. Mãe, muito obrigada ! você é, e sempre será a minha maior inspiração.

Sou grata ao Prof. Dr. Diogo Teruo Hashimoto pela oportunidade, por ter me orientado durante toda a minha pós-graduação, desde o mestrado até agora. Muito obrigada pelos seus ensinamentos, e por toda a ajuda durante o desenvolvimento dessa tese.

A todos do Laboratório de Genética em Aquicultura e Conservação e que passaram por ele durante este período, Raquel, Celma, Marcelo, Rubens, John, Carol, Shisley, Valeria e Vito. Sou imensamente grata por toda ajuda durante meus experimentos, afinal, não conseguimos fazer nada sozinhos. Acredito que Deus coloca as pessoas certas em nosso caminho, para aprendermos e contribuirmos de alguma forma, assim como aprendi muito com vocês espero também ter contribuído de alguma forma para a vida de vocês.

Em especial agradeço a Raquel, Celma e Marcelo no qual desenvolvi laços que espero levar para minha vida. Meus queridos, muito obrigada pela ajuda, conselhos, por toda força durante os meus piores dias, por trazerem um sorriso no meu rosto mesmo nos dias mais nublados. Eu sou imensamente grata por tudo que fizeram por mim e pelo cuidado que tiveram comigo durante esse tempo em Jaboticabal.

Aos meus colegas do Centro de Aquicultura da UNESP e aos técnicos Valdecir e Márcio que sempre estiveram disponíveis para a realização dos experimentos e coletas, sempre com muito bom humor, deixando os momentos mais estressantes mais descontraídos. Meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é uma espécie nativa das bacias do rio Paraná-Paraguai e corresponde a uma das espécies mais produzidas no Brasil. Contudo, o aumento da produção dessa espécie é limitado devido à falta de programas de melhoramento genético, principalmente com relação aos seus aspectos de crescimento e rendimento corpóreo. Tendo isso em vista este trabalho teve como objetivo estimar parâmetros genéticos para características de crescimento, interação genótipo ambiente (GxE) e rendimento corpóreo no pacu. Além disso, um sistema de visão computacional (CVS) foi desenvolvido com a finalidade de automatizar o processo de medição desses animais e realizar correlações indiretas com o rendimento corpóreo. Ao total, os parâmetros de genética quantitativa foram avaliados em 48 famílias de irmãos completos para dez características de crescimento (peso inicial, peso final, ganho médio diário, comprimento total, comprimento padrão, comprimento da cabeça, comprimento da pelve, altura total, altura da cabeça e altura da região posterior) em dois ambientes distintos (núcleo de melhoramento: env1; piscicultura comercial: env2) aos 15 e 28 meses de idade. Apenas 20 famílias compartilhavam os dois ambientes simultaneamente, e somente os peixes do env1 foram avaliados aos 28 meses de idade, nos quais o sexo também foi registrado e foi realizada a filetagem, para a obtenção dos seguintes cortes: cabeça, costela, lombo e filé. De forma geral os resultados obtidos para as características de crescimento indicaram elevada herdabilidade e correlação entre as medidas morfométricas, além disso, também foi observada fortes correlações entre as características de crescimento e rendimento corpóreo no pacu. O CVS se mostrou eficiente para a automatização das medidas morfométricas. Dessa forma, as informações geradas por este projeto, aliadas a estudos de desempenho zootécnico, permitirão acelerar e maximizar a produção do principal grupo de peixes nativos, auxiliando na demanda e produção de melhor qualidade.

## ABSTRACT

Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) is a native species of the Paraná-Paraguay River basins and corresponds to one of the most produced species in Brazil. However, the increase in the production of this species is limited due to the lack of genetic improvement programs, mainly in relation to its growth and body yield aspects. With that in mind, this work aimed to estimate genetic parameters for growth traits, genotype-environment interaction (GxE) and body yield in pacu. In addition, a computer vision system (CVS) was developed with the aim of automating the measurement process of these animals and performing indirect correlations with body performance. Quantitative genetic parameters were evaluated in 48 full-sib families for ten growth traits (initial weight, final weight, average daily gain, total length, standard length, head length, pelvis length, total height, height head, height of posterior region) in two distinct environments (breeding nucleus: env1; commercial fish farming: env2) at 15 and 28 months of age. Only 20 families shared the two environments simultaneously, and only fish from env1 were evaluated at 28 months of age, in which sex was also recorded, and filleting was performed to obtain the following cuts: head, rib, loin and fillet. In general, the results obtained for the growth traits indicated high heritability and correlation between the morphometric measures, in addition, strong correlations were also observed between the growth traits and body yield in pacu. The CVS proved to be efficient for the automation of morphometric measurements. That way, the information generated by this project, combined with studies of zootechnical performance, will allow accelerating and maximizing the production of the main group of native fish, helping to demand and produce better quality.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Aspectos gerais da produção aquícola

O consumo de produtos de origem animal, principalmente de pescado vem aumentando ao longo dos anos. Este aumento expressivo está relacionado ao crescimento populacional, aumento da riqueza, urbanização e a preferência por uma alimentação mais saudável (Bacher, 2015). Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2020), o consumo per capita no ano de 2017 foi de 20 kg, sendo um dos maiores já registrado.

No ano de 2018, os índices de captura pela pesca predatória atingiram valores máximos de 96,4 milhões de toneladas, caracterizando uma sobre-exploração deste recurso ao longo dos anos e, conseqüentemente, a estagnação da pesca (FAO, 2020). De acordo com a FAO, a produção de peixes pela aquicultura apresentou um rápido aumento ao decorrer dos anos e, atualmente, a aquicultura é responsável por metade de todos os peixes destinados ao consumo humano (FAO, 2016).

O Brasil possui a maior reserva de água doce do mundo, com aproximadamente 8 mil km<sup>3</sup> e mais de 3,5 milhões de hectares de lâmina d'água que podem ser aproveitadas para a aquicultura. A fim de consolidar o Brasil como um potencial produtor de pescado, uma série de políticas públicas e investimentos foram adotadas pelo extinto Ministério da Pesca e Aquicultura, como o Plano Safra da Pesca e Aquicultura, que investiu aproximadamente 4 bilhões no setor (MPA, 2014). Como consequência, foi possível observar um incremento significativo na produção nacional, que resultou em uma produção de 599 mil toneladas de pescado no ano de 2019 (IBGE, 2019). Diante do exposto, a utilização de produtos oriundos de melhoramento genético e práticas genéticas nos sistemas de produção são fundamentais para atender a demanda do mercado nacional.

## **5. CONCLUSÃO**

De forma geral, nosso trabalho demonstrou a eficiência e validação de um método automatizado para a fenotipagem em larga escala para o pacu. Identificando um melhor perfil para seleção por meio da predição de rendimento de forma não invasiva. Desta forma, possibilitando a inserção desta nova característica nos programas de melhoramento genético para esta espécie.

## 6. REFERÊNCIAS

Ariede, R. B., Freitas, M. V., Agudelo, J. F., Borges, C. H., Lira, L. V., Yoshida, G. M., Pilarski, F., Yáñez, J.M., Hashimoto, D. T. (2020). Genetic (co) variation between resistance to *Aeromonas hydrophila* and growth in tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Aquaculture*, 523, 735225. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735225>

Ariede, R.B., Freitas, M.V., Hata, M.E., Mastrochirico-filho, V.A., Pilarski, F., Batlouni, S.R., Porto-Foresti, F., Hashimoto, D.T. (2018). Microsatellites associated with growth performance and analysis of resistance to *Aeromonas hydrophila* in Tambaqui *Colossoma macropomum*. *Front. Genet.* 9, 3. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00003>.

Dupont-Nivet, M., Chevassus, B., Mauger, S., Haffray, P., Vandeputte, M. (2010). Side effects of sexual maturation on heritability estimates in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research* 41, e878–e880

Freitas, M. V., Lira, L. V., Ariede, R. B., Agudelo, J. F., Borges, C. H., Mastrochirico Filho, V. A., Garcia Neto, B. F., Carvalheiro, R., Hashimoto, D.T. (2020). Genotype by environment interaction and genetic parameters for growth traits in the Neotropical fish pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture*, 735933. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735933>

Gjedrem, T. (2012). Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: a personal opinion review. *Aquaculture* 344–349, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.003>.

Gunsett, F.C. (1987). Merit of utilizing the heritability of a ratio to predict the genetic change of a ratio. *J. Anim. Sci.* 65, 936–942.

Haffray, P., Bugeon, J., Pincet, C., Chapuis, H., Mazeiraud, E., Rossignol, M.-N., Chatain, B., Vandeputte, M., Dupont-Nivet, M., (2012). Negative genetic correlations between

production traits and head or bony tissues in large all-female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*:368–369 145–152. 10.1016/j.aquaculture.2012.09.023.

Haffray, P., Bugeon, J., Rivard, Q., Quittet, B., Puyo, S., Allamelou, J.M., Vandeputte, M., Dupont-Nivet, M. (2013). Genetic parameters of in-vivo prediction of carcass, head and fillet yields by internal ultrasound and 2D external imagery in large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*:410–411 236–244.10.1016/j.aquaculture.2013.06.016

IBGE. (2019). Pesquisa Pecuária Municipal – 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2018>

Kause, A., Paananen, T., Ritola, O., Koskinen, H., (2007). Direct and indirect selection of visceral lipid weight, fillet weight, and fillet percentage in a rainbow trout breeding program. *Journal of Animal Science* 85, 3218–3227.

Koch, R.M., Swiger, L.A., Chambers, D., Gregory, K.E. (1963). Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science* 22, 486–494

Marcos, R., Povh, J. A., Fornari, D. C., Oliveira, C. A. L., Ribeiro, P., Lopera-Barrero, N. M., Filho, R. A. C. C., Abreu, J. S., Murari, P. J. F. (2016). Weight gain and morphometric growth of genetically improved tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Semina: Ciências Agrárias* 37(4), 2521-2528. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4Supl1p2521>.

Mello, F. D., Oliveira, C. A. L., Streit, Jr. D., Resende, E. K., Oliveira, S. N., Fornari, D. C., Barreto, R. V., Povh, J. A., Ribeiro, R. P. (2016). Estimation of Genetic Parameters for Body Weight and Morphometric Traits to Tambaqui *Colossoma macropomum*. *J. FisheriesSciences* 10(2), 096-100.

Misztal, I., Legarra, A., & Aguilar, I. (2009). Computing procedures for genetic evaluation including phenotypic, full pedigree, and genomic information. *Journal of Dairy Science*, 92(9), 4648-4655.

Nguyen, N. H., Ponzoni, R. W., Abu-Bakar, K. R., Hamzah, A., Khaw, H. L., Yee, H. Y. (2010). Correlated response in fillet weight and yield to selection for increased harvest weight in genetically improved farmed tilapia (GIFT strain), *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 305(1-4), 1-5

Perazza, C. A., Ferraz, J. B. S., Almeida-Val, V. M. F., Hilsdorf, A. W. S. (2019). Genetic parameters for loin eye area and other body traits of an important Neotropical aquaculture species, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). *Aquaculture Research*. <https://doi.org/10.1111/are.14245>

Prchal, M., Bugeon, J., Vandeputte, M., Kause, A., Vergnet, A., Zhao, J., Gela, D., Genestout, L., Bestin, A., Haffray, P., Kocour, M. (2018). Potential for genetic improvement of the main slaughter yields in common carp with in vivo morphological predictors. *Frontiers in genetics*, 9, 283

Rutten, M.J.M., Bovenhuis, H., Komen, H. (2005). Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture* 246,

Trọng, T. Q., Mulder, H. A., van Arendonk, J. A., Komen, H. (2013). Heritability and genotype by environment interaction estimates for harvest weight, growth rate, and shape of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) grown in river cage and VAC in Vietnam. *Aquaculture*, 384, 119-127.113.

Valladão, G. M. R., Gallani, S. U., & Pilarski, F. (2018). South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 10(2), 351-369.

Vandeputte, M., Bugeon, J., Bestin, A., Desgranges, A., Allamellou, J. M., Tyran, A. S., Allal, F., Dupont-Nivet, M., Haffray, P. (2019). First evidence of realized selection response on fillet yield in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, using sib selection or based on correlated ultrasound measurements. *Frontiers in genetics*, 10, 1225.

Vandeputte, M., Fraslin, C., Haffray, P., Bestin, A., Allal, F., Kocour, M., Prchal, M., Dupont-Nivet, M. (2020). How to genetically increase fillet yield in fish: Relevant genetic parameters and methods to predict genetic gain. *Aquaculture*, 519, 734877.

Vandeputte, M., Garouste, R., Dupont-Nivet, M., Haffray, P., Vergnet, A., Chavanne, H., Laureau, S., Ron, T.B., Pagelson, G., Mazorra, C., Ricoux, R., Marques, P., Gameiro, M., Chatain, B. (2014). Multi-site evaluation of the rearing performances of 5 wild populations of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 424–425 239–248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.005>.

Vandeputte, M., Puledda, A., Tyran, A. S., Bestin, A., Coulombet, C., Bajek, A., Baldit, G., Vergnet, A., Allal, F., Bugeon, J., Haffray, P. (2017). Investigation of morphological predictors of fillet and carcass yield in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) for application in selective breeding. *Aquaculture*, 470, 40-49

Yang, X., Zhang, S., Liu, J., Gao, Q., Dong, S., Zhou, C. (2021). Deep learning for smart fish farming: applications, opportunities, and challenges. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 66-90.