



GRAZIELA TARÔCO

CRIAÇÃO DA GAROUPA-VERDADEIRA (*Epinephelus marginatus*) NO BRASIL: ASPECTOS PRODUTIVOS E PARÂMETROS GENÉTICOS

LAVRAS - MG

2021

GRAZIELA TARÔCO

**CRIAÇÃO DA GAROUPA-VERDADEIRA (*Epinephelus marginatus*) NO BRASIL:
ASPECTOS PRODUTIVOS E PARÂMETROS GENÉTICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Não Ruminantes, para obtenção do título de Doutora.

Prof. Dr. Alexandre Wagner Silva Hilsdorf
Orientador

Prof. Dr. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas
Co-orientador

LAVRAS - MG

2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Tarôco, Graziela.

Criação da garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*) no
Brasil: aspectos produtivos e parâmetros genéticos / Graziela
Tarôco. - 2021.

109 p. : il.

Orientador(a): Alexandre Wagner Silva Hilsdorf.

Coorientador(a): Rilke Tadeu Fonseca de Freitas.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Modelos não lineares. 2. Parâmetros genéticos. 3.
Piscicultura marinha. I. Hilsdorf, Alexandre Wagner Silva. II.
Freitas, Rilke Tadeu Fonseca de. III. Título.

GRAZIELA TARÔCO

**CRIAÇÃO DA GAROUPA-VERDADEIRA (*Epinephelus marginatus*) NO BRASIL:
ASPECTOS PRODUTIVOS E PARÂMETROS GENÉTICOS**

**FARMING OF DUSKY GROUPER (*Epinephelus marginatus*) IN BRAZIL:
PRODUCTIVE ASPECTS AND GENETIC PARAMETERS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Não Ruminantes, para obtenção do título de Doutora.

Aprovada em 31 de agosto de 2021.

Dr. Alexandre Wagner da Silva Hilsdorf

Dr. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas

Dra. Leila de Genova Gaya

Dr. Giovanni Lemos de Mello

Dra. Maria Emília de Sousa Gomes

Prof. Dr. Alexandre Wagner Silva Hilsdorf
Orientador

Prof. Dr. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas
Co-orientador

LAVRAS - MG

2021

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio e amor incondicional que sempre me proporcionaram!

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Lavras por me proporcionar essa oportunidade de capacitação. Ao Laboratório de Genética de Organismos Aquáticos e Aquicultura (LAGOAA) da Universidade de Mogi das Cruzes pela estrutura fornecida para a realização deste trabalho.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Alexandre Wagner Silva Hilsdorf pela orientação e confiança no meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas pela co-orientação e apoio.

Ao Prof. Dr. Rafael Vilhena Reis Neto pelos ensinamentos e suporte nas análises estatísticas.

A Prof. Dr. Maria Emília de Sousa Gomes e a sua equipe do Planta Piloto de Processamento de Pescado da UFLA, principalmente a Francielly Albergaria pelo suporte com as análises de carcaça.

A Redemar Alevinos/Ilhabela, especialmente a proprietária Claudia Ehlers Kerber e toda sua equipe, sem qual não teria sido possível a realização desse projeto.

A Mar do Brasil/Laguna, principalmente ao Prof. Dr. Giovanni Lemos de Mello por fornecer a estrutura necessária para os experimentos do sistema de viveiro escavado e aos alunos do curso de Engenharia de Pesca da Universidade do Estado de Santa Catarina que auxiliaram durante a coleta.

A Maricultura Costa Verde/Angra dos Reis, em especial ao Carlos Kazuo pela estrutura para a realização dos experimentos do sistema tanque-rede no mar.

A todos os amigos do LAGOAA, principalmente ao Caio Perazza pelo auxílio com as coletas e análises estatísticas e a Jussara Vaini pelo auxílio com as análises moleculares e apoio emocional incondicional. Aos meus colegas da pós-graduação que de maneira direta ou indireta compartilharam comigo essa convivência científica, em especial ao Cícero Rezende e Diana Oliveira pelo auxílio com as análises de carcaça e ao José Theodoro de Paiva pela ajuda com as análises estatísticas.

Um agradecimento mais que especial aos meus pais Geraldo e Tânia e meus padrinhos Fausto e Eliana, pelas lições valiosas, apoio e toda a estrutura necessária que me permitiu seguir em frente.

RESUMO

O cultivo da espécie *Epinephelus marginatus* (garoupa-verdadeira) tem sido impulsionada pela redução da sua oferta por meio de pesca de captura e pela sua relevância econômica, sendo um peixe nobre e muito apreciado, e apresentando elevados preços de mercado. Com isso, objetivou-se no Artigo 1 avaliar o crescimento corporal de *Epinephelus marginatus* por meio de modelos não lineares em diferentes sistemas de cultivo comercial. Para isso, 445 indivíduos foram avaliados por 730 dias em três sistemas de cultivo: tanque-rede no mar, sistema de fluxo contínuo e viveiro escavado. O modelo Logístico apresentou melhor ajuste dos dados. O sistema tanque-rede no mar apresentou a maior média de peso corporal (838 g) e a máxima taxa de crescimento assintótico (1,8 g/dia). No Artigo 2, objetivou-se avaliar, por meio da correlação fenotípica, os efeitos diretos e indiretos das medidas morfométricas e suas relações sobre os pesos e rendimentos corporais da garoupa-verdadeira, pelo método da análise de trilha. Utilizaram-se 150 indivíduos com peso médio de 680 ± 205 g. Os resultados mostraram que a altura e o comprimento padrão foram responsáveis por explicar grande parte das variações de pesos e rendimentos corporais. Por fim, no Artigo 3, visou-se estimar os parâmetros genéticos para características relacionadas ao crescimento corporal de garoupa-verdadeira em sistema de cultivo comercial. Um total de 387 indivíduos provenientes de 4 matrizes e 1 reprodutor foram utilizados. As estimativas de herdabilidade variaram de moderadas a altas para as medidas morfométricas e pesos corporais, e alta para peso de filé e peso de carcaça. As correlações genéticas foram em sua maioria significativas, positivas e de moderada a alta magnitude. O ganho genético anual estimado pode chegar até 9,9% para peso corporal e 9% para peso de filé. Os resultados obtidos a partir desse estudo poderão auxiliar sistemas de cultivo e programas de melhoramento desse recurso genético.

Palavras-chave: Análise de trilha. Modelos não lineares. Parâmetros genéticos. Piscicultura marinha

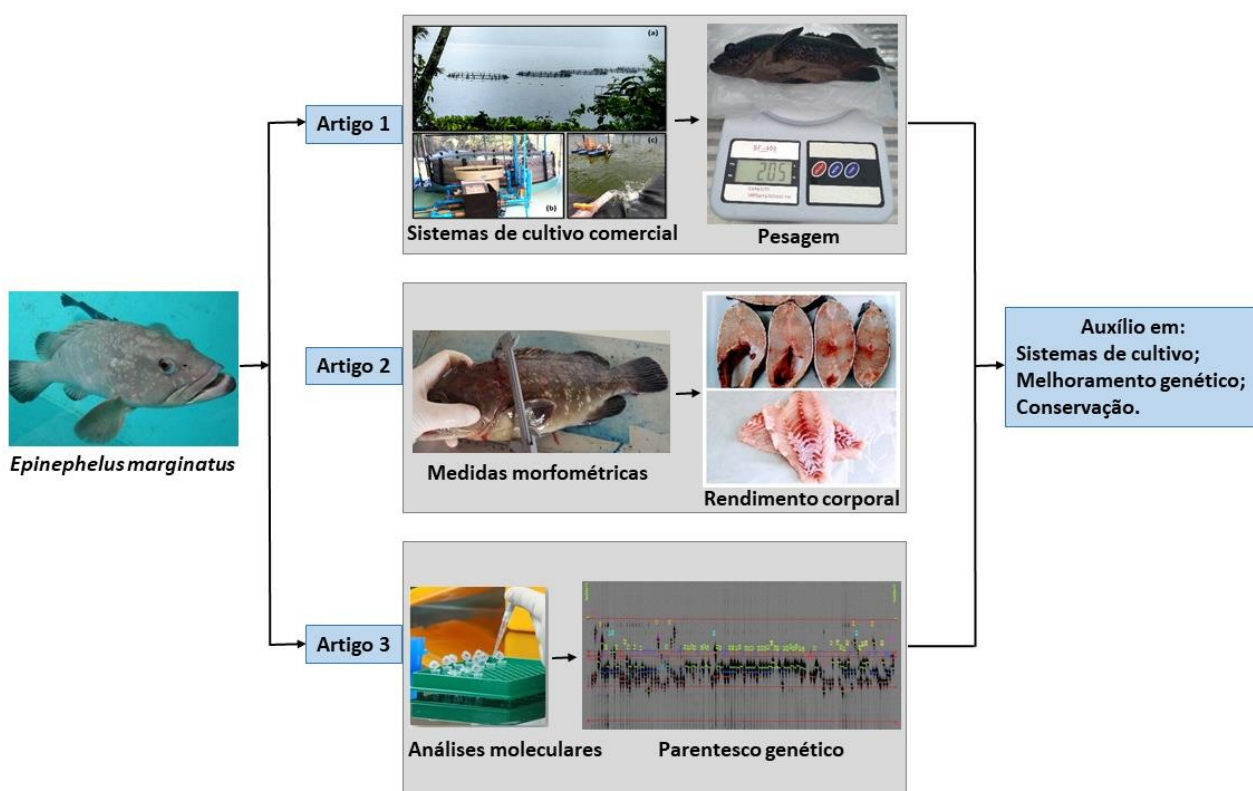
ABSTRACT

The farming of the species *Epinephelus marginatus* (dusky grouper) has been driven by the reduction of its supply through capture fishing and by its economic relevance, being a noble and highly appreciated fish, and presenting high market prices. Thus, Article 1 aimed to evaluate the body growth of *Epinephelus marginatus* using non-linear models in different commercial culture systems. For this, 445 individuals were assessed for 730 days in three culture systems: net-tank at sea, continuous flow system, and dugout pond. The Logistic model showed the best data adjustment. The system net-tank at sea showed the highest average body weight (838 g) and maximum asymptotic growth rate (1.8 g/day). Article 2 aimed to evaluate, through phenotypic correlation, the direct and indirect effects of morphometric measurements and their relationships on the body weights and yields of the dusky grouper, by the method of trail analysis. Were used 150 individuals with a medium weight of 680 ± 250 g. Results showed that height and standard length were responsible for explaining most of the variation in body weights and yields. Finally, Article 3 aimed to estimate the genetic parameters for traits related to the body growth of dusky grouper in a commercial farming system. A total of 387 individuals from 4 broodstock and 1 breeder were used. Heritability estimates ranged from moderate to high for morphometric measurements and body weights, and high for fillet weight and carcass weight. Genetic correlations were most significant, positive and of moderate to high magnitude. Annual genetic gain estimated can achieve 9.9% for body weight and 9% for filet weight. Obtained results from this study can help farming systems and breeding programs for this genetic resource.

Keywords: Trail Analysis. Non-linear models. Genetic parameters. Marine fish farming.

RESUMO INTERPRETATIVO E RESUMO GRÁFICO

A piscicultura marinha surge como uma forma de diminuir a pressão de pesca sobre a garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*). Dessa forma, objetivou-se com o Artigo 1 avaliar o crescimento corporal de *E. marginatus* com modelos não lineares em diferentes sistemas de cultivo comercial. O modelo Logístico apresentou melhor ajuste dos dados. O sistema tanque-rede no mar apresentou a maior média de peso corporal e a máxima taxa de crescimento assintótico. No Artigo 2 objetivou-se avaliar por meio da correlação fenotípica, os efeitos diretos e indiretos das medidas morfométricas e suas relações sobre os pesos e rendimentos corporais da garoupa-verdadeira. A altura e o comprimento padrão foram responsáveis por explicar grande parte das variações de pesos e rendimentos corporais. Por fim, no Artigo 3 visou-se estimar os parâmetros genéticos para características relacionadas ao crescimento corporal de garoupa-verdadeira criada em sistema de cultivo comercial. As estimativas de herdabilidade variaram de moderadas a altas para as medidas morfométricas, pesos corporais, peso de filé e peso de carcaça. As correlações genéticas foram significativas, positivas e de moderada a alta magnitude podendo estas características serem utilizadas como critérios de seleção direta ou indireta. Dessa forma, espera-se auxiliar os sistemas de cultivo, melhoramento genético e conservação da garoupa-verdadeira.



LISTA DE FIGURAS

REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1 - Garoupa-verdadeira (<i>Epinephelus marginatus</i>).....	17
Figura 2 - Ocorrência de <i>Epinephelus marginatus</i>	16
Figura 3 - Molhes da Barra em Laguna/SC.....	19
Figura 4 - Alimentação de <i>Epinephelus marginatus</i>	19
Figura 5 - Reprodução da garoupa-verdadeira no ambiente natural.....	21
Figura 6 - Captura de <i>Epinephelus marginatus</i> ao longo das últimas décadas.....	23
Figura 7 - Cultivo mundial de Garoupas ao longo das últimas décadas	25
Figura 8 - Redemar Alevinos em Ilhabela/SP	27

ARTIGO 1

Figura 1 - Sistemas de cultivo comercial de garoupa-verdadeira (<i>Epinephelus marginatus</i>). A: tanque rede no mar; B: sistema de fluxo contínuo; C: viveiro escavado.....	46
Figura 2 - Taxa de crescimento assintótico estimada pelo modelo Logístico para garoupa-verdadeira criada em diferentes sistemas de cultivo. SFC= sistema de fluxo contínuo, TRM= tanque rede no mar, VE= viveiro escavado.....	53
Figura 3 - Curva de crescimento para garoupa-verdadeira criada em diferentes sistemas de cultivo. SFC= sistema fluxo contínuo, TRM= tanque rede no mar, VE= viveiro escavado.....	54

ARTIGO 2

Figura 1 - Medidas morfométricas para garoupa-verdadeira (<i>Epinephelus marginatus</i>): comprimento padrão (CP), comprimento de cabeça (CAB), altura (ALT) e largura (LAR).....	69
--	----

ARTIGO 3

Figura 1 - Estimativa de ganho genético (GG) por ano em porcentagem e gramas, estimado para peso aos 730 dias, peso de filé e peso de carcaça sob diferentes frações de seleção.....	97
---	----

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

- Tabela 1** - Parâmetros de qualidade da água durante as fases de avaliação nos diferentes sistemas de cultivo comercial de garoupa-verdadeira.....47
- Tabela 2** - Modelos não lineares utilizados para descrever o crescimento corporal da garoupa-verdadeira, da eclosão aos 730 dias de idade48
- Tabela 3** - Estatística descritiva para pesos corporais utilizados na estimativa dos parâmetros da curva de crescimento de garoupa-verdadeira criada em diferentes sistemas de cultivo comercial50
- Tabela 4** - Critérios de qualidade de ajuste para modelos não lineares utilizados para descrever o crescimento em garoupa-verdadeira51
- Tabela 5** - Estimativas dos parâmetros das curvas de crescimento pelo modelo Logístico para garoupa-verdadeira criada em diferentes sistemas de cultivo comercial.....52

ARTIGO 2

- Tabela 1** - Estatística descritiva para peso corporal, pesos e rendimentos de partes do corpo e medidas morfométricas em garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*).....71
- Tabela 2** - Valores de efeitos diretos e indiretos entre pesos corporais e medidas morfométricas em garoupa-verdadeira.....72
- Tabela 3** - Valores de efeitos diretos e indiretos entre rendimentos corporais e medidas morfométricas em garoupa-verdadeira.....73

ARTIGO 3

- Tabela 1** - Descrição dos 10 *loci* microssatélites específicos para *Epinephelus marginatus*..88
- Tabela 2** - Caracterização genética dos 10 *loci* microssatélites específicos para *Epinephelus marginatus*.....91
- Tabela 3** - Estatísticas descritivas para pesos corporais, peso de filé e peso de carcaça em garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*).....92
- Tabela 4** - Estimativas de variância genética (σ^2_a), variância residual (σ^2_r), variância fenotípica (σ^2_f) e herdabilidade (h^2) para medidas morfométricas, pesos corporais, peso de filé e peso de carcaça em garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*).....93
- Tabela 5** - Estimativas da média e intervalo de credibilidade (95%) para correlação genética (acima da diagonal) e correlação fenotípica (abaixo da diagonal) de pesos em garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*).....95

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	13
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 REFERENCIALTEÓRICO	15
2.1 GÊNERO <i>Epinephelus</i>	15
2.2 A ESPÉCIE <i>Epinephelus marginatus</i> (Lowe, 1834).....	16
2.2.1 Identificação científica e morfológica	16
2.2.2 Ocorrência.....	17
2.2.3 Habitat e preferência alimentar	18
2.2.4 Reprodução no ambiente natural.....	20
2.2.5 Pesca.....	22
2.2.6 Aquicultura	24
2.2.7 Recurso genético e melhoramento	28
REFERÊNCIAS	31
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	41
ARTIGO 1 - Utilização de modelos não lineares para estimativa da curva de crescimento em garoupa-verdadeira (<i>Epinephelus marginatus</i>) criada em diferentes sistemas de cultivo comercial.....	41
ARTIGO 2 - Medidas morfométricas associadas a pesos e rendimentos pós-abate em garoupa-verdadeira (<i>Epinephelus marginatus</i>).....	64
ARTIGO 3 - Parâmetros genéticos para características relacionadas ao crescimento corporal de garoupa-verdadeira (<i>Epinephelus marginatus</i>) em cultivo comercial..	81
APÊNDICE A – Imagens sobre as etapas experimentais do Artigo 1.....	107
APÊNDICE B – Imagens sobre as etapas experimentais do Artigo 2.....	108
APÊNDICE C – Imagens sobre as etapas experimentais do Artigo 3.....	109

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

A garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*), é uma espécie hermafrodita sequencial protogínica monândrica (MARINO et al., 2001; ANDRADE, 2003; FILHO et al., 2009) caracterizada por alta fidelidade ao local, crescimento lento, maturação sexual tardia e suscetível à sobrepesca (HARMELIN; HARMELIN-VIVIEN, 1999). Essas características levaram sua inclusão na lista de espécies ameaçadas de extinção na categoria vulnerável, tanto pela União Internacional para a Conservação da Natureza (POLLARD et al., 2018), quanto pelo Ministério do Meio Ambiente no Brasil, onde a espécie tem sua captura proibida durante o período de 1º de novembro à 28 de fevereiro (BRASIL, 2018).

A piscicultura marinha surge como uma forma de amenizar os impactos da sobrepesca em populações naturais (PIERRE et al., 2008). Assim, a aquicultura da garoupa-verdadeira tem sido impulsionada pela redução da sua oferta por meio da pesca de captura (SHAPAWI et al., 2019) e pela sua relevância econômica, uma vez que é considerada um peixe nobre e muito apreciado, apresentando elevados valores de mercado (SANCHES et al., 2014). No Brasil, a Redemar alevinos, um empreendimento privado localizado em Ilhabela – SP, tornou possível a reprodução e criação de larvas da garoupa-verdadeira em sistema de cultivo para fins comerciais (KERBER et al., 2012).

O crescimento corporal dos peixes é uma das principais características de interesse econômico na aquicultura, contudo, estimativas incorretas sobre o desenvolvimento dos animais podem ocasionar em prejuízos financeiros aos produtores (TRIANAPHYLLOPOULOS et al., 2020). Deste modo, o crescimento corporal pode ser avaliado por intermédio do estudo de curvas de crescimento, sendo os modelos não lineares mais utilizados em peixes: Gompertz, Logístico, Richards e von Bertalanffy (YUN et al., 2015). O conhecimento do desempenho de peixes ao longo do período de cultivo pode promover melhorias nas estratégias de produção e favorecer o desenvolvimento da atividade. No entanto, até o momento não há estudos na literatura que reportem a utilização de modelos não lineares para descrever o crescimento da garoupa-verdadeira em sistemas de cultivo comercial.

Além disso, a avaliação de pesos e rendimentos corporais também se faz necessária para o sistema de produção. Assim, as medidas morfométricas surgem como uma ferramenta auxiliar

para estudos de rendimento (RIBEIRO et al., 2019). A utilização da morfometria se torna importante devido ao fato de as medidas corporais estarem muitas vezes correlacionadas as características de rendimento corporal. Uma forma de analisar as relações existentes entres essas variáveis é por meio da análise de trilha (WRIGHT 1921; 1923). O método possibilita a decomposição dessas correlações em grupos de efeitos diretos e indiretos, permitindo maior compreensão das causas envolvidas nestas associações.

Apesar da garoupa-verdadeira ser uma espécie com alto potencial econômico para aquicultura, a base genética quantitativa para características relacionadas ao corpo e a carcaça da espécie ainda são desconhecidas, assim como a associação genética existente entre elas, o que pode inibir o potencial produtivo da espécie. Desta forma, segundo Khang et al. (2018) estudos que avaliem os parâmetros genéticos para características de importância econômica em peixes marinhos são fundamentais para o planejamento de programa de seleção para espécies com potencial aquícola, como a garoupa-verdadeira.

Baseado no exposto acima, o presente estudo teve como objetivo: (i) avaliar o crescimento corporal da garoupa-verdadeira em diferentes sistemas de cultivo comercial, utilizando-se modelos não lineares; (ii) avaliar, por meio da correlação fenotípica, os efeitos diretos e indiretos das medidas morfométricas e suas relações sobre os pesos e rendimentos corporais da garoupa-verdadeira; (iii) estimar os parâmetros genéticos para características relacionadas ao crescimento corporal de garoupa-verdadeira criada em sistema de cultivo comercial. Espera-se auxiliar os sistemas de cultivo e programas de melhoramento genético desse importante recurso genético. No Apêndice A, B e C encontram-se fotos das etapas experimentais do presente estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GÊNERO *Epinephelus*

O gênero *Epinephelus* é composto por 98 espécies e está inserido na tribo Epinephelini (HEEMSTRA; RANDALL, 1993), subfamília Epinephelinae, família Epinephelidae, ordem dos Perciformes e classe Actinopterygii (CRAIG et al., 2011). No Brasil, foram registradas oito espécies do gênero *Epinephelus*, sendo elas *E. adscensionis* (Osbeck, 1765), *E. itajara* (Lichtenstein, 1822), *E. mystacinus* (Poey, 1825), *E. niveatus* (Valenciennes, 1828), *E. morio* (Valenciennes, 1828), *E. marginatus* (Lowe, 1834), *E. nigritus* (Holbrook, 1855) e *E. flavolimbatus* (Poey, 1865) (MENEZES et al., 2003).

As espécies do gênero *Epinephelus* são conhecidas como garoupas e estão distribuídas em águas tropicais e subtropicais do mundo todo (CONDINI et al., 2014). Seu comprimento total pode variar em torno de 30-250 cm. São peixes solitários que habitam recifes de corais ou locais ricos em rochas e abrigos e podem ocupar por anos o mesmo lugar, exceto em ocasiões de agregações para desova. Os lugares da desova, muitas vezes, são explorados por pescadores, removendo assim um grande número de indivíduos reprodutivamente ativos (HEEMSTRA; RANDALL, 1993). A maioria das espécies desse gênero são hermafroditas sequenciais protogínicos (ERISMAN et al., 2009), ou seja, maturam sexualmente como fêmeas e dependendo de alguns fatores ambientais/demográficos, alguns indivíduos podem inverter para machos (BARREIROS, 1998).

São considerados recursos marinhos de grande importância para a pesca costeira comercial e recreativa, sendo geralmente, os peixes mais caros nos mercados locais (BEGOSSI; SILVANO, 2008; SCHUNTER et al., 2011). Exemplo disso é a garoupa-verdadeira (*E. marginatus*), uma espécie muito apreciada no consumo da população em geral e entre os pescadores artesanais. Dentre as 16 espécies de peixes mais comercializadas em Paraty/RJ, a garoupa é o quinto peixe preferido e o sétimo mais vendido (BEGOSSI et al., 2012). No entanto, nos desembarques, não há uma identificação precisa em nível de espécie, sendo estas classificadas apenas como “garoupas”, fato este que dificulta a gestão adequada desse recurso genético (HEEMSTRA; RANDALL, 1993).

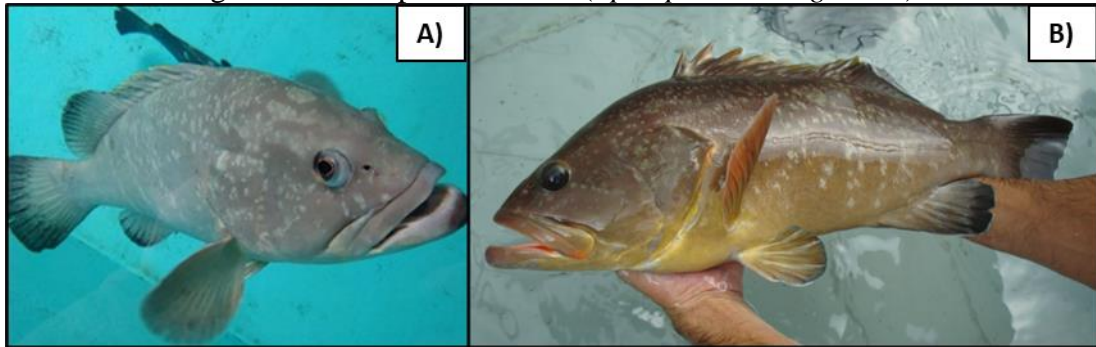
2.2 A ESPÉCIE *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834)

2.2.1 Identificação científica e morfológica

A garoupa-verdadeira, *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) (Figura 1) foi primeiramente descrita, por meio da taxonomia clássica, como *Perca gigas* (Brünnich 1768), depois como *Serranus gigas* (Valenciennes 1828), *Serranus marginatus* (Lowe 1834), *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834), *Epinephelus gigas* (Jordan & Swain 1885) e *Epinephelus guaza* (Jordan & Evermann 1896) (HEEMSTRA, 1991; CONDINI et al., 2018). Porém, Craig e Hastings (2007), por meio de filogenia molecular, propuseram a colocação de *Epinephelus marginatus* como pertencente ao gênero *Mycteroperca*, onde passou a ser denominada *Mycteroperca marginata*. Mas essa nova classificação científica ainda não foi aceita pela maioria dos pesquisadores (CONDINI et al., 2018), sendo assim, a garoupa-verdadeira continua sendo denominada *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834).

Apresenta as seguintes características morfológicas: (I) corpo e cabeça de coloração marrom-alaranjados, com manchas pálidas irregulares e ventre amarelado; (II) o pré-opérculo é levemente arredondado e finamente serrilhado; (III) os orifícios nasais anteriores são menores que os posteriores; (IV) a área inter-orbital é convexa; (V) o corpo é baixo com comprimento da cabeça maior que a altura do corpo; (VI) as nadadeiras dorsal, caudal e anal são moles e escuras com uma faixa branca marginal estreita; (VII) a nadadeira dorsal possui 11 espinhos, com o 3º e 4º espinhos mais longos que os demais, além de 14 a 16 raios, e as membranas interconectantes possuem profunda reentrância entre os espinhos; (VIII) a nadadeira anal possui 3 espinhos e 8 raios; (IX) a nadadeira peitoral com 17 a 19 raios; (X) total de 22 a 25 rastros branquiais; (XI) a linha lateral possui 62 a 73 escamas; (XII) as nadadeiras peitorais são maiores que as nadadeiras pélvicas; (XIII) a nadadeira caudal é truncada e as extremidades são arredondadas (FIGUEIREDO; MENEZES, 1980; HEEMSTRA; RANDALL, 1993; ROCHA; COSTA, 1999).

Figura 1 - Garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*).



Fonte: A) Da autora (2019) e B) Hilsdorf (2018).

2.2.2 Ocorrência

A espécie ocorre em ambos os lados da costa do Oceano Atlântico, no Mar Mediterrâneo e no Oceano Índico (HEEMSTRA; RANDALL, 1993; BARREIROS; SANTOS, 1998) (Figura 2). Sua distribuição no Oceano Atlântico se dá no Canal da Mancha (BARREIROS; SANTOS, 1998), nas Ilhas Macaronésia (Arquipélago de Açores, Ilha Madeira, Canárias e Cabo Verde) e em toda a costa atlântica da África (HEEMSTRA; RANDALL, 1993). Seu registro de ocorrência na costa Atlântica da América do Sul, é do Brasil, na Bahia (CONDINI et al., 2018) e depois do Rio de Janeiro (FIGUEIREDO; MENEZES, 1980) até os molhes da Barra do Rio Grande no Rio Grande do Sul (CONDINI et al. 2007), se estendendo do Uruguai (CONDINI et al., 2016) até o Golfo da Patagônia na Argentina (RICO; ACHA, 2003; IRIGOYEN et al., 2005). Ocorre no Mar Mediterrâneo (HEEMSTRA; RANDALL, 1993), incluindo Mar Egeu e Mar de Mármara (BILECENOGLU et al., 2002). No Oceano Índico ocorre da costa africana até o sul de Moçambique, norte de Madagascar (HEEMSTRA; RANDALL, 1993) e também na Ilha da Reunião (REID et al., 2016).

Figura 2 - Ocorrência de *Epinephelus marginatus*.



Fonte: Adaptado de Pollard et al. (2018).

2.2.3 Habitat e preferência alimentar

A garoupa tem preferência por locais ricos em abrigos e com fundos rochosos, como os recifes e costões rochosos (Figura 3) (HARMELIN; HARMELIN-VIVIEN, 1999). Conforme a idade vai aumentando, vão procurando locais mais profundos em busca de recursos alimentares específicos para as diferentes fases etárias ou na busca de parceiros para as agregações reprodutivas (ZABALA et al., 1997a). Contudo, garoupas-verdadeiras menores que 13cm de comprimento já foram encontradas tanto em águas de até 1m de profundidade, quanto em águas de 15-20m de profundidade (HARMELIN; HARMELIN-VIVIEN, 1999). Indivíduos entre 13-40cm de comprimento também já foram encontrados em profundidades menores que 15m (DERBAL; KARA, 1995). Todavia, os adultos podem ser encontrados em profundidades de até 200m (ANDRADE et al., 2003), sendo mais abundantes em profundidades de até 50m, principalmente durante a primavera e o verão (HARMELIN; HARMELIN-VIVIEN, 1999).

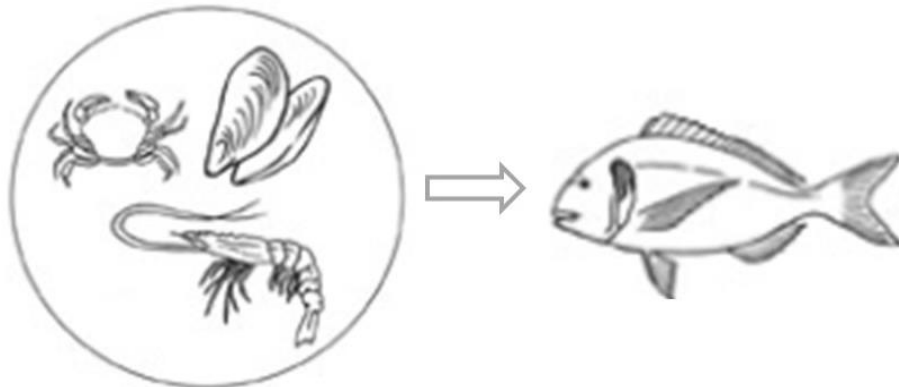
Figura 3 - Molhes da Barra em Laguna/SC.



Fonte: Da autora (2020).

São peixes que apresentam hábito solitário e sedentário, com forte fidelidade ao local (AFONSO et al., 2016). A migração ocorre geralmente durante o período reprodutivo (verão) e para se alimentar (durante o dia e ao entardecer) (HARMELIN; HARMELIN-VIVIEN, 1999; KOECK et al., 2014). A espécie é carnívora (CONDINI et al., 2018) e sua alimentação geralmente varia de acordo com o seu tamanho (HARMELIN; HARMELIN-VIVIEN, 1999). As garoupas maiores se alimentam de crustáceos maiores como camarão e caranguejos, além de moluscos e peixes, podendo ser inclusive da própria espécie (Figura 4). Já as menores se alimentam de pequenos crustáceos como os anfípodes, isópodes e caranguejos pequenos (AZEVEDO et al., 1995).

Figura 4 - Alimentação de *Epinephelus marginatus*.



Fonte: Adaptado de Moretti et al. (1999).

2.2.4 Reprodução no ambiente natural

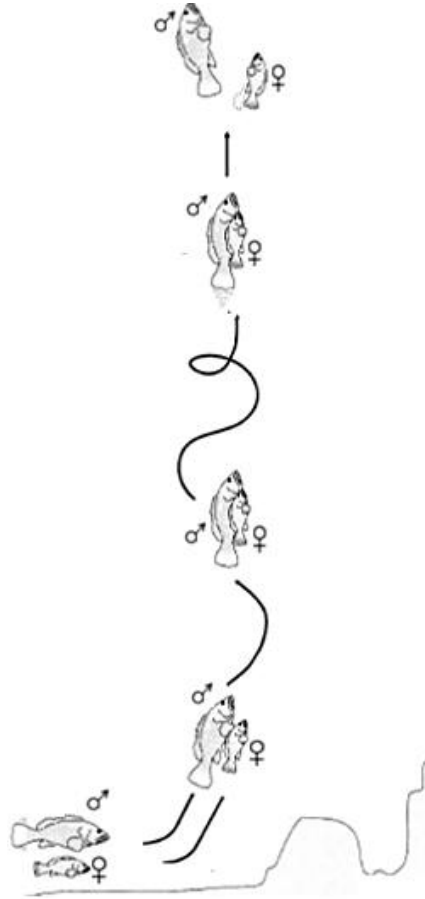
Quando a espécie possui tanto o tecido testicular quanto o ovariano, mas em um dado momento reproduz apenas como macho ou como fêmea, esta é denominada hermafrodita sequencial (SADOVY; SHAPIRO, 1987). Esse hermafroditismo pode ser protândrico, ou seja, os indivíduos maturam sexualmente como machos e depois sofrem inversão sexual tornando-se fêmeas (BRUSLÉ SICARD; FOURCAULT, 1997) ou protogínico, que é quando o indivíduo matura sexualmente como fêmea e depois tem sua inversão para macho (SHAPIRO; RASOTTO, 1993).

No hermafroditismo sequencial protogínico, os machos podem desenvolver-se diretamente a partir do estado larval/juvenil (machos primários) ou a partir de fêmeas adultas funcionais (machos secundários). Quando a espécie protogínica apresenta tanto machos primários quanto secundários é denominada de diândrica. Quando os machos se desenvolvem apenas por meio de inversão sexual de fêmeas adultas funcionais, é chamada de monândrica (SADOVY; SHAPIRO, 1987). O mesmo ocorre com espécies hermafroditas protândricas, porém, os termos correspondentes são diginia, quando ocorrem fêmeas primárias e secundárias, e monoginia com apenas fêmeas secundárias (REINBOTH, 1967).

No caso de *Epinephelus marginatus*, a espécie é denominada como hermafrodita sequencial protogínica monândrica (MARINO et al., 2001; ANDRADE, 2003; FILHO et al., 2009), apresentando maturação sexual tardia, geralmente com 2 kg, aproximadamente com 5 anos de idade (ANDRADE et al., 2003). Depois da maturação sexual, algumas garoupas podem inverter para macho, o que geralmente ocorre em indivíduos acima dos 10-15 kg com aproximadamente 10 anos de idade (BARREIROS, 1998). Essa inversão pode ter relação com o tamanho do peixe, ser sócio-demográfica ou por pressão populacional. O fator determinante para que esse mecanismo ocorra ainda não é bem esclarecido (CONDINI et al., 2018).

A desova no ambiente natural ocorre quando um macho dominante realiza atividades de corte dentro de uma pequena área do seu território, mostrando comportamento agressivo contra os demais machos. A corte ocorre entre um único casal, no qual o macho se junta à fêmea e se elevam verticalmente através da coluna d'água em paralelo, lado a lado, a menos de 20 cm de distância, em um movimento curto de natação, porém, acelerado, que termina com a emissão de gametas e a separação imediata do casal (ZABALA et al., 1997a; KERBER, 2011) (Figura 5). Um único macho é capaz de repetir uma desova bem-sucedida várias vezes em poucos minutos, com fêmeas diferentes (PELAPRAT, 1999).

Figura 5 - Reprodução da garoupa-verdadeira no ambiente natural.



Fonte: Adaptado de Zabala et al. (1997a).

A fêmea produz cerca de 300.000 óvulos por cada quilograma de peso vivo e os machos produzem uma quantidade de sêmen equivalente a 10% do seu peso total (ZABALA et al., 1997a). Entre 22-30 dias a partir da fecundação do ovo, acontece a dispersão (MACPHERSON; RAVENTOS, 2006). Andrello et al. (2013) estudando a dispersão larval da garoupa-verdadeira no Mar Mediterrâneo, observaram uma dispersão larval média de 120 km, variando de 14-522 km.

Pelo fato da espécie ser hermafrodita protogínica, a proporção sexual acaba ocorrendo de forma desigual, uma vez que existe um maior número de fêmeas em relação ao número de machos (CONDINI et al., 2018). Essa diferença na proporção sexual pode ocasionar um maior grau de parentesco entre os indivíduos (ANTORO et al., 2006). Diferentes proporções sexuais foram observadas para a espécie em habitat natural, sendo de 1 macho para cada 7,4 fêmeas no Mar Mediterrâneo (REÑONES et al., 2010), 1 macho para cada 5,5 fêmeas na África do Sul (FENNESSY, 2006) e 1 macho para cada 6,6 fêmeas no Brasil (CONDINI et al., 2014).

Sua reprodução ocorre no verão, formando agregações geralmente no mesmo local e na mesma época. Quando esse evento é descoberto por pescadores há uma grande captura, retirando assim muitos indivíduos reprodutores do ambiente natural, principalmente machos, que geralmente são maiores (ZABALA et al., 1997b).

2.2.5 Pesca

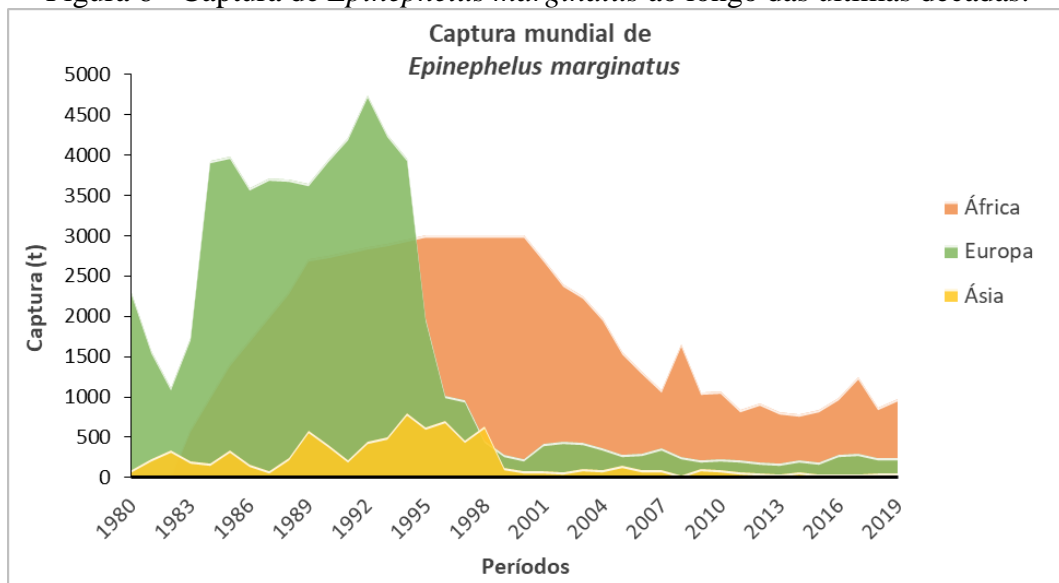
As garoupas são muito procuradas pelos pescadores locais e mercados internacionais, particularmente no sudeste asiático (Hong Kong, Singapura) e Japão (OTTOLENGHI et al., 2004). São consideradas valiosas para a pesca artesanal e esportiva (HEEMSTRA; RANDALL, 1993; SCHUNTER et al., 2011), especialmente ao longo da costa brasileira (BEGOSSI; SILVANO, 2008). Muito apreciada pela qualidade da sua carne, possui preço de mercado elevado, sendo intensamente explorada no comércio de peixes vivos (OTTOLENGHI et al., 2004). Sua captura ocorre predominantemente com linha de mão e anzol ou no mergulho com arpões (BEGOSSI; LOPES, 2020). Devido ao seu maior tamanho e reduzida quantidade de espinhas, pode ser consumida e comercializada por meio de filés no Sudeste brasileiro (BEGOSSI et al., 2017).

O fato de serem hermafroditas protogínicas acarreta problemas para a gestão da pesca de garoupas, pois os machos geralmente são os maiores, mais velhos e menos numerosos do que as fêmeas, com isso, a pesca acaba sendo direcionada para a captura dos machos (HEEMSTRA; RANDALL, 1993). Apresentam alta fecundidade e ausência de cuidado parental (milhares de ovos são liberados na coluna d'água), porém, os indivíduos adultos possuem vida longa e reprodução tardia (SADOVY, 2001). Tal estratégia híbrida, inicialmente, pode confundir tomadores de decisão e técnicos dedicados ao manejo pesqueiro, que podem considerar que esses peixes poderiam suportar uma maior pressão pesqueira devido à sua alta fecundidade, o que não ocorre, pois, os indivíduos adultos são sensíveis à pesca (SADOVY, 2001).

Segundo dados obtidos do site da FAO, a captura de *Epinephelus marginatus* tem sido reduzida drasticamente ao longo das últimas décadas, como demonstrado na Figura 6 (FAO, 2021). Dados de pesca mostraram um declínio de 50% nas capturas de *E. marginatus* nos países europeus entre 1994 (7.699 toneladas) e 2011 (869 toneladas) (HARMELIN-VIVIEN; CRAIG, 2015). No Brasil, os dados de captura de garoupas (não em nível de espécie) também mostraram

um declínio entre os anos 60-70 (1.000 toneladas/ano) e 2000-2007 (45 toneladas/ano) (FREIRE et al., 2015; BRASIL, 2018). Segundo Condini et al. (2007) a espécie tem sido explorada pela pesca esportiva e comercial nos molhes da Barra de Rio Grande, representando uma fonte significativa de renda para os pescadores artesanais locais, que atuam principalmente de dezembro a março (período reprodutivo da espécie).

Figura 6 - Captura de *Epinephelus marginatus* ao longo das últimas décadas.



Fonte: Adaptado de FAO (2021).

No Brasil, embora existam algumas estimativas de desembarque por meio de censos visuais da garoupa-verdadeira nas regiões sudeste e sul do Brasil, elas são apenas para algumas regiões e por um curto período de análise, não refletindo então a variação da abundância real da espécie. Entre os anos de 1966-2007 foram desembarcados no Estado do Rio de Janeiro 65% do volume total de garoupa, seguido de Santa Catarina (22%), Rio Grande do Sul (7%), São Paulo (5%) e Paraná (1%). Além disso, as capturas de garoupa desembarcadas no Estado de São Paulo variaram no decorrer dos anos: 1998 (11 toneladas), 2002 (20 toneladas), 2007 (4 toneladas), 2010 (15 toneladas) e 2016 (12 toneladas). Em Santa Catarina a captura variou de 0,2 toneladas (2007) até 38 toneladas (2013) (BRASIL, 2018).

Em 2009 cerca de 275.000 toneladas da pesca global foram de garoupas (*Epinephelidae*), o que representou aproximadamente 90 milhões de peixes, além disso, corresponderam a quase 20% da captura global em Hong Kong, por meio do comércio de peixes vivos de recife de coral (*Live Reef Food Fish Trade*), onde representaram cerca de 1 bilhão de dólares por ano. Isso praticamente desapareceu com algumas espécies mais próximas de seu

centro comercial (SADOVY DE MITCHESON et al., 2013). Sadovy de Mitcheson et al. (2013), mostraram que 20 espécies (12% de todas as espécies de garoupas) estão em risco de extinção e 22 espécies (13% de todas as garoupas) estão ameaçadas. Os mesmos autores alertam sobre a possibilidade de pelo menos um quarto de todas as espécies conhecidas de garoupas enfrentarem extinção local em um futuro próximo, se não forem efetuados planos gerais de manejo da pesca nos ecossistemas dos recifes de corais.

A garoupa-verdadeira foi classificada globalmente como ameaçada de extinção na categoria vulnerável pela União Internacional para a Conservação da Natureza (POLLARD et al., 2018). No Brasil foi inserida na Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçada de Extinção - Peixes e Invertebrados Aquáticos (Portaria MMA nº 445, 2014) também como vulnerável, dessa forma, o Ministério do Meio Ambiente elaborou um plano de recuperação para essa espécie, que tem como finalidade conciliar a conservação e a recuperação da garoupa-verdadeira com a atividade pesqueira sustentável ao longo do litoral sudeste e sul do Brasil (BRASIL, 2018). Esse plano de recuperação foi estabelecido na Portaria MMA nº 229, 2018 e oficializado na Portaria MMA nº 41, 2018, portaria que também declarou a espécie passível de uso, estabelecendo um período proibido de captura (1 de novembro até 28 de fevereiro), e um comprimento total permitido (maior ou igual a 47cm e menor ou igual a 73cm).

Alguns fatores que podem ter colaborado para que a espécie se tornasse ameaçada de extinção pode ter sido seu grande tamanho. Na fase adulta a garoupa pode chegar à 120-150 cm de comprimento com um peso total de 60 kg, além de apresentar um longo período de vida, aproximadamente 60 anos (BARREIROS; SANTOS, 1998; REÑONES et al., 2010). Este fator aliado ao hermafroditismo protogínico, sedentarismo, fidelidade ao local e sobrepesca podem ter colocado a espécie em situação de extinção e/ou vulnerabilidade (POLLARD et al., 2018). De acordo com Begossi e Silvano, 2008 e com Pierre et al. (2008) a forte pressão da pesca sobre a garoupa poderia ser reduzida com a sua produção em grande escala por meio da aquicultura. Isso mostra a importância da aquicultura marinha para a preservação desse recurso genético.

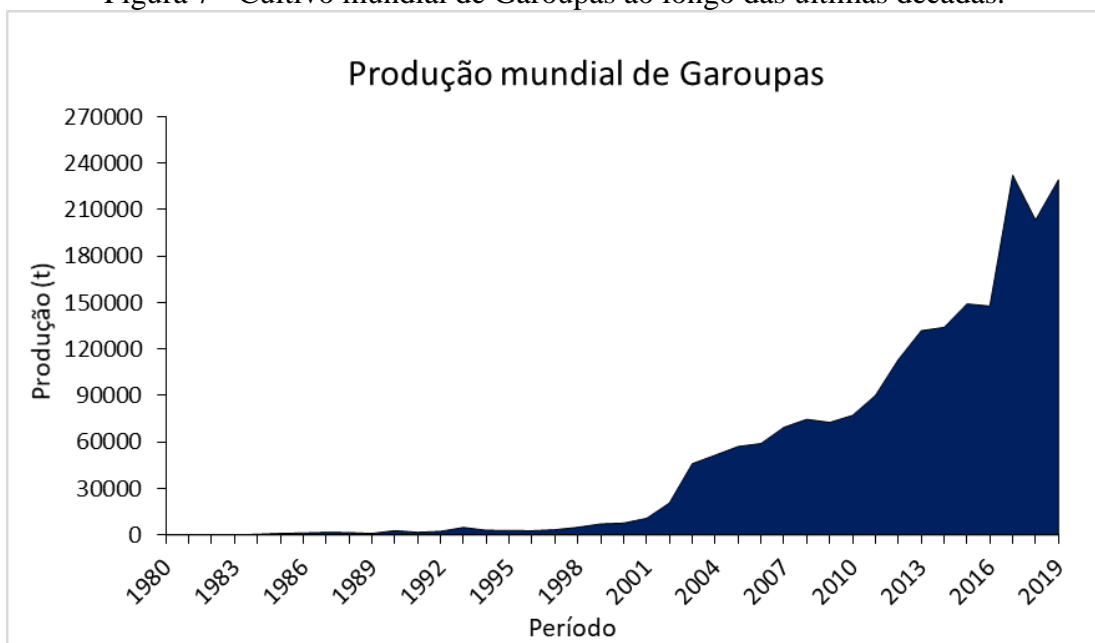
2.2.6 Aquicultura

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) destaca que a aquicultura e a pesca são os setores de produção de alimentos que mais crescem no mundo (VANDEPUTTE; HAFFRAY, 2014), atingindo 167,2 milhões de toneladas em 2016 (SILVA et al., 2018). De acordo com Houston et al. (2020), a aquicultura é composta por um grupo

extremamente diversificado de espécies, das quais, 543 são pertencentes a peixes e crustáceos, sendo os peixes o grupo de maior representação com 362 diferentes espécies.

Com base nos dados de produção nacional fornecidos à FAO (2017), foram produzidas quase 155.000 toneladas de garoupas em 2015 (não só de *E. marginatus*) com um valor total de 630 milhões de dólares. Os principais países produtores foram a China (65% da produção total), Taiwan (17%) e Indonésia (11%). Em conjunto, estes três países contribuíram com 92% da produção. Taiwan exportou para a China 7.877 toneladas de garoupas avaliadas em cerca de 102 milhões de dólares em 2011 (AHN et al., 2014). Estima-se que a Indonésia produziu cerca de 7 milhões de garoupas em 2015, dos quais 80-90% foram exportados. O Oriente Médio também produz garoupas cultivadas, compreendendo apenas 0,1% da produção total (RIMMER; GLAMUZINA, 2019). Segundo dados da FAO (2021), a produção mundial de garoupas (não só *E. marginatus*) mais que dobrou nos últimos 10 anos, sendo o continente asiático o único produtor na atualidade (Figura 7).

Figura 7 - Cultivo mundial de Garoupas ao longo das últimas décadas.



Fonte: Adaptado de FAO (2021).

A produção em cativeiro (aquicultura) de *E. marginatus* pode diminuir a pressão de pesca sobre a espécie, fornecendo ao mercado um produto com rastreabilidade e certificado de origem (SANCHES et al., 2006). O cultivo de garoupas tem sido realizado na Ásia principalmente em sistemas de tanque-rede no mar ou em viveiros escavados, e recentemente alguns criadores da China e Hong Kong têm investido em sistemas de recirculação (BEGOSI;

LOPES, 2020). De acordo com Rimmer e Glamuzina (2019) 36 espécies do gênero *Epinephelus* são cultivados pela aquicultura, além disso, há pelo menos 15 híbridos de garoupas que foram desenvolvidos, vários dos quais são cultivados rotineiramente. Híbridos com *E. marginatus* são reportados somente para pesquisa, sem fins comerciais até o momento, e são entre *E. marginatus* X *E. aeneus* (GLAMUZINA et al., 1999) e entre *E. marginatus* X *E. costae* (GLAMUZINA et al., 2001).

Em países da Ásia, os períodos médios de cultivo das garoupas (não só de *Epinephelus*) na região Norte são mais longos (23 meses) do que na região Centro-Sul (14 meses), devido às baixas temperaturas da água durante o inverno no Norte. As densidades de estocagem estão geralmente na faixa de 10-20 peixes/m³ para tanque-rede no mar e de 0,5 peixe/m² para viveiro escavado (PETERSEN et al., 2013). Embora a dieta por meio de ração em *pellet* esteja disponível para as garoupas, a maior parte do cultivo ainda depende fortemente da utilização de rejeito de pesca (*trash fish*) (KONGKEO et al., 2010; PETERSEN et al., 2013).

Nas Filipinas, as garoupas são vendidas entre 400-600g principalmente para grandes hotéis e restaurantes de frutos do mar (GUERRERO, 2014). As Ilhas do Pacífico (Oceania) foram uma das principais fornecedoras de garoupas selvagens, porém, tem havido pouco cultivo de garoupa na região. O Estado de Queensland, na Austrália, por exemplo, produz somente cerca de 0,5 milhões de alevinos por ano (RIMMER; GLAMUZINA, 2019). No Mediterrâneo, o início das pesquisas sobre aquicultura de garoupa se deu com *E. marginatus* por volta dos anos 90, com os resultados dos ensaios de crescimento na Espanha e de desova em cativeiro na Itália (SPEDICATO et al., 1995). Os primeiros sucessos com desova artificial e cultivo larval de *E. marginatus* ocorreram na Itália e na Croácia (GLAMUZINA et al., 1998a, b; SPEDICATO et al., 1998; SARTER et al., 2006). Embora tenha havido um desenvolvimento nas técnicas de criação de larvas de *E. marginatus* (RUSSO et al., 2009; CUNHA et al., 2013), dominar totalmente a fase larval e a sua produção em massa ainda continua sendo um problema (RIMMER; GLAMUZINA, 2019).

No Brasil, a aquicultura de garoupas tem sido concentrada no cultivo larval de *E. marginatus* (KERBER et al., 2012). As primeiras tentativas para produção de ovos da garoupa-verdadeira no Brasil se iniciaram em 2007 com um empreendimento privado, a Redemar Alevinos, localizada em Ilhabela/SP (Figura 8). Ao longo dos anos, a empresa tornou possível a formação de um plantel de reprodutores, iniciando a reprodução e o desenvolvendo de protocolos de produção de alevinos em escala comercial, obtendo, então, o sucesso na reprodução e larvicultura da garoupa-verdadeira em cativeiro para fins comerciais (KERBER

et al., 2012). No ano de 2017 a empresa conseguiu a primeira produção comercial de 30.000 juvenis, com isso, as perspectivas futuras para a aquicultura de *E. marginatus* demonstram-se positivas (RIMMER; GLAMUZINA, 2019).

Figura 8 - Redemar Alevinos em Ilhabela/SP.



Fonte: Da autora (2019) e Kerber (2020).

Para o cultivo de *E. marginatus*, os reprodutores são obtidos por meio de captura no ambiente natural e mantidos em tanques. As fêmeas são selecionadas para a reprodução por meio de biópsia ovariana com canulação, e os machos são obtidos pela técnica de inversão sexual (SANCHES et al., 2009a). Contudo, alguns fatores dificultam o estabelecimento de estoque de reprodutores da garoupa-verdadeira, entre eles estão: (I) a complexidade do processo de inversão sexual, onde a obtenção de machos torna-se um problema (BARREIROS, 1998); (II) a captura de machos no ambiente natural é trabalhosa, uma vez que eles estão em menor quantidade em comparação as fêmeas, além disso são de grande porte, dificultando seu manuseio (SANCHES et al., 2009b); (III) geralmente habitam grandes profundidades, tornando a captura difícil e com baixa taxa de sobrevivência (SANCHES et al., 2009b); (IV) a introdução de novos machos pode resultar na morte do macho menos dominante se não for removido do tanque (SANCHES et al., 2009b); (V) larvas de garoupas apresentam boca pequena e reservas limitadas de vitelo (KOHNO et al., 1997; TOLEDO et al., 2002); (VI) as larvas são sensíveis

ao estresse, acarretando em níveis elevados de mortalidade (KERBER et al., 2012). Estudos com *E. marginatus* em sistema de cultivo têm sido realizados nos últimos anos, principalmente no que se refere à biologia reprodutiva da espécie (GARCIA et al., 2013; CAMPOS et al., 2018; MELLO et al., 2018).

2.2.7 Recurso genético e melhoramento

Recurso genético é o uso da variabilidade genética de organismos biológicos para geração de produtos úteis a humanidade (HILSDORF; HALLERMAN, 2017). Segundo a FAO (2019), os recursos genéticos aquáticos incluem DNA, genes, cromossomos, tecidos, gametas, embriões e outras fases iniciais da história de vida dos indivíduos, linhagens, stocks (grupo intraespecífico de acasalamento aleatório que apresenta estabilidade espacial e temporal - IHSSSEN et al., 1981) e comunidades de organismos de valor real ou potencial para a alimentação.

Muitos organismos aquáticos cultivados são altamente semelhantes aos seus parentes selvagens. Estes por sua vez, são considerados importantes recursos pesqueiros, que além de explorados na aquicultura, servem como fonte de ovos e reprodutores. No entanto, aquicultura ainda está direcionada, na sua grande maioria, para o cultivo de peixes selvagens, utilizando-se pouco o melhoramento genético em organismos aquáticos cultivados (FAO, 2019).

O domínio da reprodução, aliado ao monitoramento genético dos plantéis de reprodutores permitirá a aplicação das metodologias de melhoramento genético para produzir variedades geneticamente superiores de garoupa-verdadeira, tornando a atividade economicamente atrativa. Isso é especialmente relevante, pois, segundo Gjedrem et al. (2012) menos de 10% da produção mundial aquícola é baseada em estoques geneticamente melhorados. A maior parte das espécies aquícolas ainda se encontra em processo de domesticação, tendo grande diversidade genética dentro das espécies (HOUSTON et al., 2020). A base genética para um programa de melhoramento é essencial para um programa de seleção; para isso, é necessário que as matrizes tenham alta diversidade genética, tentando evitar problemas com a endogamia e possibilitando o aumento na probabilidade de respostas genéticas em longo prazo (GJEDREM, 2005; SILVA et al., 2018). O uso de espécies melhoradas geneticamente visa o ganho na taxa de crescimento, a redução no tempo de cultivo e maior taxa de sobrevivência (SILVA et al., 2018).

O melhoramento genético pode proporcionar ganhos genéticos de forma desigual em programas bem conduzidos. Essa diferença ocorre, principalmente, devido ao tempo gasto pelas espécies para alcançar a primeira maturação sexual, denominado como intervalo de geração (RESENDE, 2009). Na garoupa-verdadeira o intervalo de geração é de aproximadamente 5 anos em ambiente natural (ANDRADE et al., 2003), porém, em cativeiro seu intervalo de geração gira em torno de 3 anos (Claudia Ehlers Keber, comunicação pessoal).

A seleção permite o acúmulo de ganho genético a cada geração, sendo uma boa ferramenta a longo prazo, e muitas vezes uma estratégia altamente rentável para a melhoria da linhagem em domesticação (GJEDREM; ROBINSON, 2014). A seleção de animais geneticamente superiores provou ser eficaz em espécies aquícolas, uma vez que o melhoramento genético através da seleção de reprodutores produz um ganho genético médio de cerca de 10% por geração para características relacionadas ao crescimento (GJEDREM et al., 2012). O uso de seleção para taxa de crescimento promoveu ganhos genéticos de 50% no tempo de comercialização do salmão-prateado (*Oncorhynchus kisutch*) após dez gerações selecionadas (TAVE, 1989), um aumento de 20% por geração no pargo-europeu (*Sparus aurata*) (HULATA, 1995) (THODESEN et al., 1999) e de 12% por geração no salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (GJEDREM; ROBINSON, 2014). Segundo Gjedrem (2012), os programas de melhoramento convencional devem continuar sendo a base para do melhoramento genético, para que assim as tecnologias moleculares possam ser efetivamente incorporadas nestes programas, a fim de aumentar ainda mais os ganhos genéticos. Técnicas de seleção genômica associadas a inovações biotecnológicas poderão, no futuro, acelerar os ganhos genéticos na aquicultura (Houston et al., 2020).

Uma ferramenta molecular que auxilia no melhoramento genético e nos programas de conservação são os marcadores moleculares microssatélites. Esses fornecem informações importantes sobre as populações de peixes (cativeiro ou selvagens), tais como a identificação da variabilidade genética entre e dentro dos estoques e a análise de parentesco (TANIGUCHI, 2003; MOJEKWU; ANUMUDU, 2013). Em espécies do gênero *Epinephelus*, Kuo et al. (2014) utilizaram microssatélites para avaliar um plantel de reprodutores da espécie *E. lanceolatus*, a fim de diminuir os índices de endogamia no processo reprodutivo. Da mesma forma, An et al. (2014) realizaram a caracterização genética com microssatélite de quatro populações de cativeiro da espécie *E. septemfasciatus* buscando avaliar e monitorar a variação genética entre os plantéis e estabelecer procedimentos de controle de cruzamentos para evitar a depressão por endogamia e melhorar o desempenho produtivo dos alevinos produzidos. Para a espécie *E.*

marginatus, De Innocentiis et al. (2008) utilizaram 6 *loci* microssatélites não específicos para avaliar a diversidade genética e o tamanho efetivo populacional de dois estoques de reprodutores oriundos do Mar Mediterrâneo e de juvenis F₁, comparando-os com a diversidade genética de populações selvagens para avaliar a efetividade de programas de repovoamento. Os autores verificaram um valor positivo de relação de parentesco entre o plantel de reprodutores e reduzidos valores dos parâmetros de variabilidade genética dos reprodutores e da geração F₁. Contudo, a diferenciação genética foi detectada entre os indivíduos reintroduzidos e as populações selvagens.

Estudos sobre diversidade genética populacional de *E. marginatus* com marcadores moleculares mitocondriais e microssatélites não específicos demonstraram que a espécie apresenta estruturação genética em localidades do Mar Mediterrâneo, Oceano Atlântico e Oceano Índico, como observado pelos trabalhos de Faure et al. (1999), Sola et al. (1999), Gilles et al. (2000), De Innocentiis et al. (2001), Maggio et al. (2006), Schunter et al. (2011), Elglid et al. (2015), Buchholz-Sørensen e Vella (2016) e Reid et al. (2016), mas não apresentou estruturação genética em Paraty/RJ no Brasil (PRIOLLI et al., 2016). Vaini et al. (2019) foram os primeiros a desenvolverem um painel com 20 *loci* microssatélites espécie-específicos para *E. marginatus*, a fim de auxiliar tanto o manejo reprodutivo de garoupas em sistemas de cultivo, quanto em programas de melhoramento genético e conservação da espécie. Além disso, Vaini et al. (2021), utilizando o painel de *loci* microssatélite espécie-específico, demonstraram os padrões de diversidade genética de *E. marginatus* no Mar Mediterrâneo, Oceano Atlântico e Oceano Índico, no qual verificou-se uma estruturação genética, sendo os primeiros a fornecerem dados sobre a diversidade genética populacional da espécie ao longo da costa Atlântica da América do Sul, incluindo Brasil (Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e Argentina (Patagônia).

Para a implementação de um programa de melhoramento é importante conhecer a diversidade genética das populações selvagens, já que a grande maioria dos sistemas de cultivo utilizam reprodutores coletados no ambiente natural (GJEDREM, 2005). Como essas informações já foram descritas para as populações de *E. marginatus* no Brasil (VAINI et al., 2021), e a reprodução e criação de larvas da garoupa-verdadeira já vem sendo realizada (KERBER et al., 2012), a próxima etapa é o conhecimento do desempenho produtivo e dos parâmetros genéticos de características de interesse econômico que possam ser utilizados como critérios de seleção em programas de melhoramento genético (GJEDREM; ROBINSON, 2014) da garoupa-verdadeira, informações essas que foram verificadas no presente estudo.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, P.; ABECASIS, D.; SANTOS, R. S.; FONTES, J. Contrasting movements and residency of two serranids in a small Macaronesian MPA. **Fisheries Research**, v. 177, p. 59–70, 2016.
- AHN, B. I.; LIAO, P. A, KIM, H. Impacts of the cross-straits economic cooperation framework agreement on the grouper fish markets in Taiwan and mainland China. **China Agricultural Economic Review**, v. 6, p. 574-597, 2014.
- AN, H.S.; CHO, J. K.; KIM, K. M.; SON, M. H.; MYEONG, J. I.; NA, C. M. Characterization of 22 polymorphic microsatellite markers for seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus* developed using a 454 pyrosequencing approach. **Conservation Genetics Resources**, v. 6, p. 665-667, 2014.
- ANDRADE, A. B.; MACHADO, L. F.; HOSTIM-SILVA, M.; BARREIROS, J. P. Reproductive biology of the dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, p. 373-381, 2003.
- ANDRELLO, M.; MOUILLOT, D.; BEUVIER, J.; ALBOUY, C.; THUILLER, W.; MANEL, S. Low connectivity between Mediterranean marine protected areas: a biophysical modeling approach for the Dusky Grouper *Epinephelus marginatus*. **PLoS ONE**, v. 8:e68564, 2013.
- ANTORO, S.; NA-NAKORN, U.; KOEDPRANG, W. Study of genetic diversity of orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides*, from Thailand and Indonesia using microsatellite markers. **Marine Biotechnology**, v. 8, p. 17-26, 2006.
- AZEVEDO, J. M. N.; RODRÍGUEZ, J. B.; MENDIZÁBAL, M.; ARRUDA, L. M. Study of a sample of dusky groupers, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834), caught in the tide pool at Lajes do Pico, Azores. **Boletim do Museu Municipal do Funchal**, v. 4, p. 55–64, 1995.
- BARREIROS, J. P. Sexual inversion *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces: Serranidae, Epinephelinae). **Revista Portuguesa de Zootecnia**, v. 5, p. 81-90, 1998.
- BARREIROS, J. P.; SANTOS, R. Notas sobre os hábitos alimentares e comportamento predatório do mero, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces: Serranidae) nos Açores. Arquipélago. **Ciências Biológicas e Marinhas** 16A: 29-35, 1998.
- BEGOSSI, A.; SILVANO, R. A. Ecology and ethnoecology of dusky grouper [garoupa, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834)] along the coast of Brazil. **Journal of ethnobiology and ethnomedicine**, v. 4, p. 1-14, 2008.
- BEGOSSI, A.; SALIVONCHYK, S.V.; HANAZAKI, N.; MARTINS, I.M.; BUELONI, F. Fishers (Paraty, RJ) and fish manipulation time: a variable associated to the choice for consumption and sale. **Brazilian Journal of Biology**, v.72, p. 973-975, 2012.

BEGOSI, A.; SALIVONCHYK, S.; HALLWASS, G.; HANAZAKI, N.; LOPES, P. F.; SILVANO, R. A. Threatened fish and fishers along the Brazilian Atlantic Forest Coast. **Ambio**, v. 46, p. 907-914, 2017.

BEGOSI, A.; LOPES, P. F. M. **Garoupa e pescadores (*Epinephelus marginatus*)**. São Carlos: RiMa Editora, 2020. 130 p.

BILECENOGLU, M.; TASKAVAK, E.; MATER, S.; KAYA, M. Checklist of the marine fishes of Turkey. **Zootaxa**, v. 113, p. 1–194, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de recuperação da garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*), no litoral sudeste e sul do Brasil**. Brasília, 2018. 53p.

BRUSLÉ SICARD, S.; REINBOTH, R.; FOURCAULT, B. Germinal potentialities during sexual state changes in a protandric hermaphrodite, *Amphiprion frenatus* (Teleostei, Pomacentridae). **Journal of Fish Biology**. v. 45, p. 597– 611, 1994.

BRUSLÉ SICARD, S.; FOURCAULT, B. Recognition of sex-inverting protandric *Sparus aurata*: ultrastructural aspects. **Journal of Fish Biology**, v. 50, p. 1094– 1103, 1997.

BUCHHOLZ-SØRENSEN, M. & VELLA, A. Population structure, genetic diversity, effective population size, demographic history and regional connectivity patterns of the endangered dusky grouper, *Epinephelus marginatus* (Teleostei: Serranidae), within Malta's fisheries management zone. **PLoS ONE**, v. 11, p. 1-33, 2016.

CAMPOS, M. F.; NOSTRO, F. L. L.; CUÑA, R. H. D.; MOREIRA, R. G. Endocrine disruption of phenanthrene in the protogynous dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Serranidae: Perciformes). **General and Comparative Endocrinology**, v. 257, p. 255-263, 2018.

CONDINI, M.V.; GARCIA, A. M.; VIEIRA, J. P. Descrição da pesca e perfil sócio-econômico do pescador da garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus* (Lowe) (Serranidae: Epinephelinae) no Molhe Oeste da Barra de Rio Grande. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 2, p. 279-287, 2007.

CONDINI, M. V.; FÁVARO, L. F.; VARELA, A. S.; GARCIA, A. M. Reproductive biology of the dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) at the southern limit of its distribution in the south-western Atlantic. **Marine and Freshwater Research**, v. 65, p. 162-173, 2014.

CONDINI, M. V.; VÉLEZ-RUBIO, G. M.; FALLABRINO, A.; GARCIA, A. M. First occurrence of dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) in a Marine Protected Area on the Uruguayan coast. **Cahiers de Biologie Marine**, v. 57, p. 1-5, 2016.

CONDINI, M. V.; GARCÍA-CHARTON, J. A.; GARCIA, A. M. A review of the biology, ecology, behavior and conservation status of the dusky grouper, *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834). **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 28, p. 301-330, 2018.

CRAIG, M. T.; HASTINGS, P. A. A molecular phylogeny of the groupers of the subfamily Epinephelinae (Serranidae) with a revised classification of Epinephelini. **Ichthyological Research**, v. 54, p. 1–17, 2007.

CRAIG, M. T.; SADOVY DE MITCHESON, Y. J.; HEEMSTRA, P.C. **Groupers of the World: A Field and Market Guide**. Grahamstown: NISC (Pty) Ltd, 2011. 424 p.

CUNHA, M. E.; RÉ, P.; QUENTAL-FERREIRA, H.; GAVAIA, P. J.; POUSÃO-FERREIRA, P. Larval and juvenile development of dusky grouper *Epinephelus marginatus* reared in mesocosms. **Journal of Fish Biology**, v. 83, p. 448–465, 2013.

DE INNOCENTIIS, S.; SOLA, L.; CATAUDELLA, S.; AND BENTZEN, P. Allozyme and microsatellite loci provide discordant estimates of population differentiation in the endangered dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) within the Mediterranean Sea. **Molecular Ecology**, v.10, p. 2163-2175, 2001.

DE INNOCENTIIS, S.; LONGOBARDI, A.; MARINO, G. Molecular tools in a marine restocking program for the endangered dusky grouper, *Epinephelus marginatus*. **Reviews in Fisheries Science**, v. 16, p. 269-277, 2008.

DERBAL, F.; KARA, M. H. Habitat et comportement du mérour *Epinephelus marginatus* dans la région d'Annaba (Algérie). **Cahiers de Biologie Marine**, v. 36, p. 29–32, 1995.

ELGLID, A.; CROUAU-ROY, B.; BRADAI, M. N.; AND FADHLOU-ZID, K. Population genetic structure of *Epinephelus marginatus* in the Central Mediterranean Sea (Gulf of Gabès and the coast of Libya). **Journal of Advances in Biology** v. 8, p. 1571-1580, 2015.

ERISMAN, B. E.; CRAIG, M. T.; HASTINGS, P. A. A phylogenetic test of the sizeadvantage model: evolutionary changes in mating behavior influence the loss of sex change in a fish lineage. **American Society of Naturalist**, v. 174, p. 83–99, 2009.

FAO. **FishStatJ, a Tool for Fishery Statistics Analysis**. FAO Fisheries and Aquaculture Department, FIPS - Statistics and information, Rome. 2017.

FAO. **The State of the World's Aquatic Genetic Resources for Food and Agriculture**. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture assessments, Rome. 2019.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Fishery Statistical Collections. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en>. Acesso em: 22 jul. 2021.

FAURE, E.; GILLES, A.; MIQUELIS, A.; KARA, M. H.; QUIGNARD, J. P. Phylogeographie moléculaire du mérour brun de Méditerranée occidentale (*Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834), Teleostei, Serranidae). **Marine Life**, v. 9, p. 31-35, 1999.

FENNESSY, S. T. Reproductive biology and growth of the yellowbelly rockcod *Epinephelus marginatus* (Serranidae) from South-east Africa. **African Journal of Marine Science**, v. 28, p. 1–11, 2006.

- FIGUEIREDO, J. L.; MENEZES, N. A. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil.** III Teleostei (2). Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo, 1980. 90 p.
- FILHO, J. A. R.; SANCHES, E. G.; GARCIA, C. E. O. G.; PANNUTI, C. V.; SEBASTIANI, E. F.; MOREIRA, R. G. Threatened fishes of the world: *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Serranidae: Epinephelinae). **Environmental Biology of Fishes**, v. 85, p. 301–302, 2009.
- FREIRE, K. M. F.; ARAGÃO, J. A. N.; ARAÚJO, A. R. R.; SILVA, A. O. A.; BISPO, M. C. S.; VELASCO, G.; CARNEIRO, M. H.; GONÇALVES, F. D. S.; KEUNECKE, K. A.; MENDONÇA, J. T.; MORO, P. S.; MOTTA, F. S.; OLAVO, G.; PEZZUTO, P. R.; SANTANA, R. F.; SANTOS, R. A.; SANTOS, I. T.; VASCONCELOS, J. A.; VIANNA, M.; DIVOVICH, E. Fisheries catch reconstructions for Brazil's mainland and oceanic islands. **Fisheries Centre Research Reports**, v. 23, p. 3-30, 2015.
- GARCIA, C. E. O.; ARAÚJO, B. C.; MELLO, P. H.; NARCIZO, A. M.; RODRIGUES-FILHO, J. A.; MEDRADO, A. T.; ZAMPIERI, R. A.; FLOETER-WINTER, L. M.; MOREIRA, R. G. Involvement of pituitary gonadotropins, gonadal steroids and breeding season in sex change of protogynous dusky grouper, *Epinephelus marginatus* (Teleostei: Serranidae), induced by a non-steroidal aromatase inhibitor. **General and Comparative Endocrinology**, v. 192, p. 170-180, 2013.
- GILLES, A.; MIQUELIS, A.; QUIGNARD, J. P.; FAURE, É. Molecular phylogeography of western Mediterranean dusky grouper *Epinephelus marginatus*. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie**, v. 323, p. 195-205, 2000.
- GJEDREM, T. **Selection and Breeding Programs in Aquaculture.** Netherlands: Springer International Publishing, 2005. 364 p.
- GJEDREM, T. Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: a personal opinion review. **Aquaculture**, v. 344, p. 12-22, 2012.
- 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, p. 117-129, 2012.
- GJEDREM, T.; ROBINSON, N. Advances by selective breeding for aquatic species: a review. **Agricultural Sciences**, v. 5, p. 1152-1158, 2014.
- GLAMUZINA, B.; GLAVIÉ, N.; SKARAMUCA, B.; KOZUL, V.; TUTMAN, P. Early development of the hybrid *Epinephelus costae* x *E. marginatus*. **Aquaculture**, v. 198, p. 55–61, 2001.
- GLAMUZINA, B.; SKARAMUCA, B.; GLAVIC, N.; KOZUL, V. Preliminary studies on reproduction and early life stages in rearing trials with dusky grouper, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834). **Aquaculture Research**, v. 29, p. 769–771. 1998a.

- GLAMUZINA, B.; SKARAMUCA, B.; GLAVIC, N.; KOZUL, V.; DULCIC, J.; KRALJEVIC, M. Egg and early larval development of laboratory reared dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces, Serranidae). **Scientia Marina**, v. 62, p. 373–378, 1998b.
- GLAMUZINA, B.; KOZUL, V.; TUTMAN, P.; SKARAMUCA, B. Hybridization of Mediterranean groupers: *Epinephelus marginatus* x *E. aeneus* and early development. **Aquaculture Research**, v. 30, p. 625–628, 1999.
- GUERRERO, R. D. Philippines target grouper farming for live fish exports. **Aquaculture Asia-Pacific**, v. 10, p. 42–43, 2014.
- HARMELIN, J. G.; HARMELIN-VIVIEN, M. L. A review on habitat, diet and growth of the dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834). **Mar Life**, v. 9, p. 11–20, 1999.
- HARMELIN-VIVIEN, M.; CRAIG, M. T. *Epinephelus marginatus*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2015**, e.T7859A44904558, 2015.
- HEEMSTRA, P. C. A taxonomic revision of the Eastern Atlantic groupers (Pisces: Serranidae). **Boletim do Museu Municipal do Funchal**, v. 43, p. 5–71, 1991.
- HEEMSTRA, P. C.; RANDALL, J. E. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. **FAO Species Catalogue**, v. 16, p. 382, 1993.
- HILSDORF, A. W. S.; HALLERMAN, E. M. **Genetic Resources of Neotropical Fishes**. Suíça: Springer International Publishing, 2017. 258p.
- HOUSTON, R. D.; BEAN, T. P.; MACQUEEN, D. J.; GUNDAPPA, M. K.; JIN, Y. H.; JENKINS, T. L.; SELLY, S. L. C.; MARTIN, S. A. M.; STEVENS, J. R.; SANTOS, E. M.; DAVIE, A.; ROBLEDO, D. Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. **Nature Reviews Genetics**, v. 21, p. 389-409, 2020.
- HULATA, G. The history and current status of aquaculture genetics in Israel. **Israeli Journal of Aquaculture**, v. 47, p. 142-154, 1995.
- IHSSEN, P. E.; BOOKE, H. E.; CASSELMAN, J.M.; MCGLADE, J. M.; PAYNE, N. R.; UTTER, F. M. Stock identification: materials and methods. **The Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 38, p. 1838-1855, 1981.
- IRIGOYEN, A. J.; GALVAÁN, D. E.; VENERUS, L. A. Occurrence of dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) in gulfs of northern Patagonia, Argentina. **Journal of Fish Biology**, v. 67, p. 1741-1745, 2005.
- KERBER, C. E. Garoupas em cativeiro. **Boletim APAMVET**, v. 2, p. 18-21, 2011.
- KERBER, C.E.; AZEVEDO SILVA, H.K.; SANTOS, P.A.; SANCHES, E.G. Reproduction and larviculture of dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) in Brazil. **Journal of Agricultural Sciences and Technology**, v. 2, p. 229-234, 2012.

KHANG, P. V.; PHUONG, T. H.; DAT, N. K.; KNIBB, W.; NGUYEN, N. H. An 8-year breeding program for Asian seabass *Lates calcarifer*: Genetic evaluation, experiences, and challenges. **Frontiers in genetics**, v.9, p.191, 2018.

KOECK, B.; PASTOR, J.; SARAGONI, G.; DALIAS, N.; PAYROT, J.; LEFANT, P. Diel and seasonal movement pattern of the dusky grouper *Epinephelus marginatus* inside a marine reserve. **Marine Environmental Research**, v. 94, p. 38-47, 2014.

KOHNO, H.; ORDONIO-AGUILLAR, R.; OHNO, A.; TAKI, Y. Why is grouper larval rearing difficult? An approach from the development of the feeding apparatus in early stage larvae of the grouper, *Epinephelus coioides*. **Ichthyology Research**, v. 44, p. 267-274, 1997.

KONGKEO, H.; WAYNE, C.; MURDJANI, M.; BUNLIPTANON, P.; CHIEN, T. Current practices of marine finfish cage culture in China, Indonesia, Thailand and Viet Nam. **Aquaculture Asia Magazine**, v. 15, p. 32–40, 2010.

KUO, H. C.; HSU, H. H.; CHUA, C. S.; WANG, T. Y.; CHEN, Y. M.; CHEN, T. Y. Development of pedigree classification using microsatellite and mitochondrial markers for giant grouper broodstock (*Epinephelus lanceolatus*) management in Taiwan. **Marine Drugs**, v. 12, p. 2397-2407, 2014.

MACPHERSON, E.; RAVENTOS, N. Relationship between pelagic larval duration and geographic distribution of Mediterranean littoral fishes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 327, p. 257–265, 2006.

MAGGIO, T.; ANDALORO, F.; ARCULEO, M. Genetic population structure of *Epinephelus marginatus* (Pisces, Serranidae) revealed by two molecular markers. **Italian Journal of Zoology**, v. 73, p. 275–283, 2006.

MARINO, G.; MASSARI, A.; DI MARCO, P.; AZZURRO, E.; FINOIA, M. G.; MANDICH, A. Supporto scientifico ala messa a punto di una tecnica di riproduzione per la cernia di scoglio (*Epinephelus marginatus* Lowe, 1834). **Biologia Marina Mediterranea**, v. 5, p. 1042–1051, 1998.

MARINO, G.; AZZURRO, E.; MASSARI, A.; FINOIA, M. G.; MANDICH, A. Reproduction of the dusky grouper from the Southern Mediterranean. **Journal of Fish Biology**, v. 58, p. 909–927, 2001.

MELLO, P. H.; ARAÚJO, B. C.; CAMPOS, M. F.; RODRIGUES-FILHO, J. A.; GARCIA, C. E. O.; MOREIRA, R. G. Embryonic and larval development and fatty-acid profile of *Epinephelus marginatus* spawned in captivity: tools applied to captive rearing. **Journal of Fish Biology**, v. 92, p. 1126-1148, 2018.

MENEZES, N. A.; BUCKUP, P. A.; FIGUEIREDO, J. L.; MOURA, R. L. **Catálogo das espécies de peixes marinhos do Brasil**. São Paulo: Museu de Zoologia USP, 2003. 164 p.

MOJEKWU, T. O.; ANUMUDU, C. I. Microsatellite markers in aquaculture: application in fish population genetics. **Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 5, p. 43-48, 2013.

- MORETTI, A.; PEDINI, F. C. M.; CITTOLIN, G.; GUIDASTRI, R. **Manual on hatchery production of seabass and gilthead sea bream**. Italy: FAO, 1999. 194 p.
- OTTOLENGHI, F.; SILVESTRI, C.; GIORDANO, P.; LOVATELLI, A.; NEW, M. B. **Capture-based aquaculture: the fattening of eels, groupers, tunas and yellowtails**. Rome: FAO, 2004. 308 p.
- PELAPRAT, C. Observations on the spawning behavior of the dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) in the North of Corsica (France). **Mar Life**, v. 9, p. 59–65, 1999.
- PETERSEN, E. H.; MY CHINH, D. T.; DIU, N. T.; PHUOC, V. V.; PHUONG, T. H.; DUNG, N. V. Bioeconomics of grouper, Serranidae: Epinephelinae, culture in Vietnam. **Reviews in Fisheries Science**, v. 21, p. 49–57, 2013.
- PIERRE, S.; GAILLARD, S.; PRÉVOT-D'ALVISE, N.; AUBERT, J.; ROSTAING-CAPAILLON, O.; LEUNG-TACK, D.; GRILLASCA, J. P. Grouper aquaculture: Asian success and Mediterranean trials. **Aquatic Conservation: Marine and freshwater ecosystems**, v. 18, p. 297-308, 2008.
- POLLARD, D. A.; AFONSO, P.; BERTONCINI, A. A.; FENNESSY, S.; FRANCOUR, P.; BARREIROS, J. *Epinephelus marginatus*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2018**: e.T7859A100467602.
- PRIOLLI, R. H.; BAJAY, M. M.; SILVANO, R. A.; BEGOSSI, A. Population genetic structure of an estuarine and a reef fish species exploited by Brazilian artisanal fishing. **Scientia Marina**, v. 80, p. 467-477, 2016.
- REID, K.; CROCHELET, E.; BLOOMER, P.; HOAREAU, T. B. Investigating the origin of vagrant dusky groupers, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834), in coastal waters of Réunion Island. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 103, p. 98-103, 2016.
- REINBOTH, R. Biandric teleost species. **General and Comparative Endocrinology**, v. 9, 1967.
- REÑONES, O.; GRAU, A.; MAS, X.; RIERA, F.; SABORIDO-REY, F. Reproductive pattern of an exploited dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) (Pisces: Serranidae) population in the western Mediterranean. **Scientia Marina**, v. 74, p. 523-537, 2010.
- RESENDE, E. K. Pesquisa em rede em aquicultura: bases tecnológicas para o desenvolvimento sustentável da aquicultura no Brasil. Aquabrazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 52-57, 2009.
- RIBEIRO, F. M.; LIMA, M.; COSTA, P. A. T.; PEREIRA, D. M.; CARVALHO, T. A.; SOUZA, T. V.; BOTELHO, H. A.; SILVA, F. F.; COSTA, A. C. Associations between morphometric variables and weight and yields carcass in Pirapitinga *Piaractus brachypomus*. **Aquaculture Research**, v. 50, p. 2004-2011, 2019.

RICO, M. R.; ACHA, E. M. Southernmost occurrence of *Epinephelus marginatus* in the south-west Atlantic. **Journal of Fish Biology**, v. 63, p. 1621-1624, 2003.

RIMMER, M. A.; GLAMUZINA, B. A review of grouper (Family Serranidae: Subfamily Epinephelinae) aquaculture from a sustainability science perspective. **Reviews in Aquaculture**, v. 11, p. 58-87, 2019.

ROCHA, L. O. F.; COSTA, P. A. S. **Manual de Identificação de Peixes Marinhos para a Costa Central**. Programa REVIZEE / SCORE-Central, p.1-70, 1999.

RUSSO, T.; BOGLIONE, C.; DE MARZI, P.; CATAUDELLA, S. (2009) Feeding preferences of the dusky grouper (*Epinephelus marginatus*, Lowe 1834) larvae reared in semi-intensive conditions: a contribution addressing the domestication of this species. **Aquaculture**, v. 289, p. 289–296, 2009.

SADOVY DE MITCHESON, Y.; CRAIG, M. T.; BERTONCINI, A. A.; CARPENTER, K. E.; CHEUNG, W. W. L.; CHOAT, J. H.; CORNISH, A. S.; FENNESSY, S. T.; FERREIRA, B. P.; HEEMSTRA, P. C.; LIU, M.; MYERS, R. F.; POLLARD, D. A.; RHODES, K. L.; ROCHA, L. A.; RUSSELL, B. C.; SAMOILYS, M. A.; SANCIANGCO, J. Fishing groupers towards extinction: a global assessment of threats and extinction risks in a billion dollar fishery. **Fish and Fisheries**, v. 14, p. 119-136, 2013.

SADOVY, Y.; SHAPIRO, D. Y. Criteria for the diagnosis of hermaphroditism in fishes. **Copeia**, p. 136– 156, 1987.

SADOVY, Y. Summary of regional survey of fry/fingerling supply for grouper mariculture in southeast Asia. **SPC Live Reef Fish Information Bulletin**, v. 8, p. 22–29, 2001.

SANCHES, E. G.; HENRIQUES, M. B.; FAGUNDES, L.; SILVA, A. A. Viabilidade econômica do cultivo da garoupa verdadeira (*Epinephelus marginatus*) em tanques-rede, região sudeste do Brasil. **Informações Econômicas**, v.36, p. 15-25, 2006.

SANCHES, E. G.; OLIVEIRA, I. R.; SERRALHEIRO, P. C. S. Inversão sexual da garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.10, p.198-209, 2009a.

SANCHES, E. G.; OLIVEIRA, I. R.; SERRALHEIRO, P. C. S.; Crioconservação do sêmen da garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Teleostei, Serranidae). **Boletim do Instituto de Pesca**, v.35, p.389-399, 2009b.

SANCHES, E. G.; SILVA, F. C.; LEITE, J. R.; SILVA, P. K. A.; KERBER, C. E.; SANTOS, P. A. A incorporação de óleo de peixe na dieta pode melhorar o desempenho da garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus*? **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 2, p. 147-155, 2014.

SARTER, K.; PAPADAKI, M.; ZANUY, S.; MYLONAS, C. C. Permanent sex inversion in 1-year-old juveniles of the protogynous dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) using controlled-release 17 α -methyltestosterone implants. **Aquaculture**, v. 256, p. 443–456, 2006.

- SCHUNTER, C.; CARRERAS-CARBONELL, J.; PLANES, S.; SALA, E.; BALLESTEROS, E.; ZABALA, M.; HARMELIN, J. G.; HARMELIN-VIVIEN, M.; MACPHERSON, E.; PASCUAL, M. Genetic connectivity patterns in an endangered species: the dusky grouper (*Epinephelus marginatus*). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 401, p. 126-133, 2011.
- SHAPAWI, R.; ABDULLAH, F. C.; SENOO, S.; MUSTAFA, S. Nutrition, growth and resilience of tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) x giant Grouper (*Epinephelus lanceolatus*) hybrid- a review. **Reviews in Aquaculture**, v. 11, p. 1285-1296, 2019.
- SHAPIRO, D.Y.; RASOTTO, M. B. Sex differentiation and gonadal development in the diandric, protogynous wrasse, *Thalassoma bifasciatum* (Pisces, Labridae). **Journal of Zoology**, v. 230, p. 231–245, 1993.
- SILVA, G. F.; SHIOTSUKI, L.; TEIXEIRA, R. A.; DIAS, L. T.; VILLELA, L. C. V.; FREITAS, L. E. L.; KIRSCHNIK, L. N. G.; VARELA, E. S. **Programas de melhoramento genético na piscicultura**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2018. 58p.
- SOLA, L.; PAPALIA, S.; ROSSI, A. R.; GORNUNG, E.; DE INNOCENTIIS, S.; MARINO, G.; DI MARCO, P.; CATAUDELLA, S. Genetic characterisation of *Epinephelus marginatus* through cytogenetic, allozyme and microsatellite analyses: preliminary results. **Mar Life**, v. 9, p. 67-68, 1999.
- SPEDICATO, M. T.; LEMBO, G.; DI MARCO, P.; MARINO, G. Preliminary results in the breeding of dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834). **Marine Aquaculture Finfish Species Diversification**, n. 16, p. 131–148, 1995.
- SPEDICATO, M. T.; CONTEGIACOMO, M.; CARBONARA, P.; LEMBO, G.; BOGLIONE, C. Artificial reproduction of *Epinephelus marginatus* aimed at the development of restocking techniques. **Biologia Marina Mediterranea**, v. 5, p. 1248–1257, 1998.
- TANIGUCHI, N. Genetic factors in broodstock management for seed production. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 13, p. 177–185, 2003.
- TAVE, D. The Domsea selective breeding program with coho salmon. **Aquaculture Magazine**, v. 15, p. 63-67, 1989.
- THODESEN, J.; GRISDALE-HELLAND, B.; HELLAND, S. J.; GJERDE, B. Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, v. 180, p. 237-246, 1999.
- TOLEDO, J.; CABEROY, N.; QUINTIO, G.; CHORESCA, C.; NAKAGAWA, H. Effects of salinity, aeration and light intensity on oil globule absorption, feeding incidence, growth and survival of early-stage grouper *Epinephelus coioides* larvae. **Fisheries Science**, v. 68, p. 478-483, 2002.
- TRIANANTHYLLOPOULOS, K. A.; CARTAS, D.; MILIOU, H. Factors influencing GH and IGF-I gene expression on growth in teleost fish: how can aquaculture industry benefit? **Reviews in Aquaculture**, v. 12, p. 1637-1662, 2020.

VAINI, J. O.; MOTA, K. G.; OJEDA, A. P.; BARREIROS, J. P.; MOREIRA, R. G.; HILSDORF, A. W. S. Development and characterization of 20 polymorphic microsatellite markers for *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Perciformes: Epinephelidae) using 454 pyrosequencing. **Genetics and molecular biology**, v. 42, p. 74-79, 2019.

VAINI, J. O.; DOMINGUES, R. R.; FERRETTE, B. L. D. S.; HALLERMAN, E. M.; MOTA, K. G.; BARREIROS, J. P.; HILSDORF, A. W. S. Global population genetic structure of the sequential hermaphrodite, dusky grouper (*Epinephelus marginatus*). **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, p. 1-12, 2021.

VANDEPUTTE, M.; HAFFRAY, P. Parentage assignment with genomic markers: a major advance for understanding and exploiting genetic variation of quantitative traits in farmed aquatic animals. **Frontiers in Genetics**, v. 5, p.432-439, 2014.

YUN, B.; YU, X.; XUE, M.; LIU, Y.; WANG, J.; WU, X.; HAN, F.; LIANG, X. Effects of dietary protein levels on the long-term growth response and fitting growth models of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). **Animal Nutrition**, v. 1, p.70-76, 2015.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, p. 557-585, 1921.

WRIGHT, S. The theory of path coefficients a reply to Niles's Criticism. **Genetics**, v. 8, p. 239-285, 1923.

ZABALA, M.; GARCIA-RUBIES, A.; LOUISY, P.; SALA, E. Spawning behaviour of the Mediterranean dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces, Serranidae) in the Medes Islands Marine Reserve (NW Mediterranean, Spain). **Scientia Marina**. v. 61, p. 65-77, 1997a.

ZABALA, M.; LOUISY, P.; GARCIA-RUBIES, A.; GRACIA, V. Socio-behavioural context of reproduction in the mediterranean dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces, Serranidae) in the Medes Islands Marine Reserve (NW Mediterranean, Spain). **Scientia Marina**, v. 61, p. 79-89, 1997b.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico Aquaculture

UTILIZAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES PARA ESTIMATIVA DA CURVA DE CRESCIMENTO EM GAROUPA-VERDADEIRA (*Epinephelus marginatus*) CRIADA EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO COMERCIAL

RESUMO

32

33

34 A garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*) é uma espécie que se encontra em
35 processo de domesticação. Assim como outras espécies aquícolas, tem o crescimento
36 corporal como uma das principais características de interesse econômico, podendo este
37 apresentar diferenças, dependendo do sistema de cultivo utilizado. Assim, objetivou-se
38 estimar a curva de crescimento da garoupa-verdadeira criada em diferentes sistemas de
39 cultivo comercial utilizando-se modelos não lineares. Um total de 445 garoupas foram
40 avaliadas por um período de 730 dias em três sistemas de cultivo distintos: tanque-rede
41 no mar (TRM), sistema de fluxo contínuo (SFC) e viveiro escavado (VE). As curvas de
42 crescimento foram ajustadas por meio dos modelos Brody, Gompertz, Logístico,
43 Richards e von Bertalanffy. Dentre os cinco modelos avaliados Brody e Richards não
44 atingiram convergência, não sendo indicados para descrever o crescimento das garoupas.
45 Os modelos Gompertz, Logístico e von Bertalanffy atingiram a convergência e podem
46 ser empregados na avaliação da curva de crescimento dos animais. Contudo, o modelo
47 Logístico apresentou melhor ajuste dos dados, sendo o mais indicado para descrever o
48 crescimento das garoupas. O crescimento dos animais divergiu entre os sistemas de
49 cultivo, sugerindo que as condições ambientais influenciaram o desempenho dos peixes.
50 As estimativas para os parâmetros da curva de crescimento demonstraram que as
51 garoupas cultivadas no sistema SFC apresentaram menor peso assintótico e maior
52 velocidade de crescimento ($p < 0,05$), indicando maior precocidade dos animais. Contudo,
53 a maior média de peso corporal após 730 dias de cultivo foi observada no sistema TRM
54 (838 g), seguidos pelos sistemas SFC (587 g) e VE (428 g). A máxima taxa de
55 crescimento assintótico foi de 1,8 g/dia no sistema TRM, 1,7 g/dia no SFC e 0,9 g/dia no
56 sistema VE, observadas aos 367, 510 e 438 dias respectivamente. A baixa salinidade do
57 sistema VE pode ter sido o principal fator para o menor desempenho dos animais. As
58 garoupas atingiram o peso de abate em todos os sistemas avaliados, de modo que os
59 animais do sistema TRM e SFC apresentam possibilidade de redução no tempo de cultivo.

60

61 **Palavras-chave:** Peso assintótico. Piscicultura marinha. Ponto de inflexão. Taxa de
62 crescimento.

63

64

ABSTRACT

Dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) is a species in the domestication process. As well as other species from aquaculture, it has body growth as one of the main characteristics of economic interest, which may show differences, according to the farming system used. Thus, we aimed to estimate the growth curve of dusky grouper farmed in different commercial farming systems by using non-linear models. A total of 445 groupers were evaluated for 730 days in three different farming systems: net-tank at sea (TRM), continuous flow system (SFC), and dugout pond (VE). Growth curves were adjusted by Brody, Gompertz, Logistic, Richards, and von Bertalanffy models. Comparisons between the five evaluated models, Brody and Richards model did not achieve convergence, is not indicated to describe grouper growth. Gompertz, Logistic, and von Bertalanffy models achieved convergence and can be used in the growth curve evaluation of the animals. However, the Logistic model showed the best data adjustment, consisting in the most indicated to describe grouper growth. Animals' growth differed between farming systems, suggesting that environmental conditions influenced fishes' performance. Estimates for growth curve parameters indicated that groupers cultivated in system SFC showed lower asymptotic weight and higher growth speed ($p < 0.05$), indicating higher precocity of the animals. However, the highest body weight means after 730 farming days were observed in the TRM system (838 g), followed by SFC (587 g) and VE systems (428 g). The maximum asymptotic growth rate was 1.8 g/day in the TRM system, 1.7 g/day in SFC and 0.9 g/day in the VE system, observed at 367, 510, and 438 days, respectively. The low salinity of the VE system may be the major factor for the lowest performance of the animals. Groupers achieved slaughter weight in all evaluated systems, so that animals from TRM and SFC systems show the possibility of reduction in farming time.

Keywords: Asymptotic weight. Marine fish farming. Inflection point. Growth rate.

98 1. INTRODUÇÃO

99

100 O crescimento populacional e a busca por alimentos mais saudáveis têm
101 aumentado a demanda por peixes e impulsionado a piscicultura mundial. Entretanto, a
102 maior parte dos animais produzidos são oriundos de água doce, ficando a grande maioria
103 dos peixes de água salgada limitados à pesca extrativista. Isso fez com que muitas
104 espécies que apresentam valor comercial elevado tivessem seus estoques depletados ao
105 longo das últimas décadas (FAO, 2016).

106 Exemplo disto é a garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*), que combinada
107 à sobrepesca e sua biologia reprodutiva complexa, teve um declínio de 50% na captura
108 entre os anos de 1994 e 2011 (Harmelin-Vivien and Craig, 2015). A pesca e desembarque
109 desse peixe tem sido cada vez mais escasso (Shapawi et al., 2019). Por esse motivo a
110 espécie se encontra inserida na lista de animais ameaçados de extinção na categoria
111 vulnerável pela União Internacional para a Conservação da Natureza (Pollard et al.,
112 2018). No Brasil foi classificada como vulnerável pelo Ministério do Meio Ambiente e
113 tem sua captura proibida pela Portaria MMA Interministerial nº 41, 2018, durante o
114 período de novembro a fevereiro (verão no hemisfério Sul) (Brasil, 2018).

115 O cultivo comercial de garoupas surge como uma alternativa para aumentar a
116 oferta desse peixe ao mercado consumidor e, conseqüentemente, reduzir a pressão da
117 pesca extrativista sobre tal recurso genético, conservando os estoques selvagens dessa
118 espécie (Sanches et al., 2007; Boglione et al., 2009; Shapawi et al., 2019). O interesse no
119 cultivo da garoupa tem sido impulsionado principalmente pela diminuição da oferta da
120 pesca de captura (Shapawi et al., 2019) e da grande importância econômica da espécie,
121 uma vez que são peixes nobres, apreciados e com preços de mercado elevados (Sanches
122 et al., 2014; Begossi et al., 2019).

123 Uma das principais características de interesse econômico na piscicultura é o
124 crescimento corporal dos peixes, que pode ser influenciado por fatores genéticos,
125 ambientais e/ou a interação entre eles (Shapawi et al., 2019; Triantaphyllopoulos et al.,
126 2020). A superestimação ou subestimação do crescimento podem resultar no mau
127 planejamento da mão-de-obra, da alimentação e do momento ideal da despesca,
128 provocando prejuízos financeiros aos produtores (Triantaphyllopoulos et al., 2020).

129 A avaliação do crescimento de diferentes espécies tem sido realizada por meio da
130 utilização de modelos não lineares, que são metodologias matemáticas aplicadas a

131 produção animal. Tem como finalidade descrever fenômenos biológicos relacionados ao
132 crescimento corporal em função do tempo. Dentre as diferentes funções não lineares
133 existentes, os modelos Gompertz, Logístico, Richards e von Bertalanffy tem sido os mais
134 utilizados em estudos que avaliam o crescimento de peixes (Yun et al., 2015). Todavia,
135 estes estudos são limitados na literatura (Allaman et al., 2013) e inexistentes para
136 garoupa-verdadeira.

137 A utilização de modelos não lineares pode ser uma importante ferramenta para
138 avaliar os padrões de crescimento da garoupa em diferentes sistemas de cultivo comercial.
139 O conhecimento do desempenho desses peixes ao longo do tempo de cultivo pode
140 promover melhorias nas estratégias de produção e favorecer o desenvolvimento da
141 atividade.

142

143 **2. MATERIAL E MÉTODOS**

144

145 **2.1 Animais, Manejo e Dieta**

146

147 O experimento teve duração de 24 meses (dezembro/2018 a dezembro/2020) e foi
148 aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade de Mogi das
149 Cruzes, SP, protocolo número 005/2020, cujos critérios de avaliação são estabelecidos
150 pela Lei Federal nº 11.794 (8 de outubro de 2008).

151 Foram utilizadas neste estudo 445 garoupas (*Epinephelus marginatus*) de
152 produção comercial, avaliadas da eclosão aos 730 dias de idade, totalizando 2.154
153 informações de peso corporal. O experimento foi dividido em duas fases, sendo a primeira
154 fase da eclosão aos 310 dias de idade e a segunda fase dos 311 aos 730 dias de idade.

155 Na primeira fase do experimento, denominada como sistema de alevinagem (SA),
156 todos os animais foram criados em tanque de alvenaria abastecido com água bombeada
157 direto do mar a uma densidade de 170 peixes/m³, localizado em Ilhabela, São Paulo. Nesta
158 fase as garoupas foram alimentadas com ração comercial específica para peixes
159 carnívoros marinhos contendo 45% de proteína bruta, em duas frequências alimentares a
160 uma taxa de arraçamento de 2% da biomassa corporal. Durante este período, foi
161 realizada a pesagem dos peixes aos 48 e 150 dias de idade, obtendo-se assim, a média de
162 peso corporal dos animais. Aos 310 dias de idade, os animais foram identificados com
163 PIT-Tags (*Passive Integrated Transponder*) e pesados em balança digital para obtenção

164 do peso individual e distribuídos aleatoriamente em diferentes sistemas de cultivo
 165 comercial: sistema de fluxo contínuo (SFC), localizado em Ilhabela/SP; tanque rede no
 166 mar (TRM), localizado em Angra dos Reis/RJ e viveiro escavado (VE), localizado em
 167 Laguna/SC (Fig. 1).

168



169

170

Fig. 1. Sistemas de cultivo comercial de garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*).

171

A: tanque-rede no mar; B: sistema de fluxo contínuo; C: viveiro escavado.

172

173

Na segunda fase do experimento as garoupas foram criadas de acordo com o
 174 manejo de cultivo de cada sistema de produção. Assim, os animais do SFC foram
 175 cultivados a uma densidade de 50 peixes/m³ em tanque com água bombeada
 176 continuamente do mar para o sistema de criação. Os peixes foram alimentados com ração
 177 comercial extrusada específica para peixes carnívoros marinhos, contendo 45% de
 178 proteína bruta, em duas frequências alimentares, com taxa de arraçoamento de 1% da
 179 biomassa corporal.

180

No sistema TRM as garoupas foram cultivadas a uma densidade de 8 peixes/m³
 181 em tanque rede circular flutuante posicionado no mar próximo a costa. A alimentação foi
 182 baseada no uso de *trash fish* (resíduo de pesca), fornecida uma vez ao dia, até saciedade
 183 aparente dos animais.

184 No sistema de VE, os peixes foram criados em viveiro escavado revestido com
 185 gel membrana a uma densidade de 4 peixes/m³ com água bombeada de lagoas (lagoas
 186 que se comunicam com o mar por meio de canais, tornando a água salobra ou salgada).
 187 A alimentação foi realizada com ração comercial extrusada específica para peixes
 188 carnívoros marinhos, contendo 45% de proteína bruta, em duas frequências alimentares,
 189 a uma taxa de arraçoamento de 1% da biomassa corporal. Os parâmetros de qualidade da
 190 água foram monitorados e estão apresentados na Tabela 1.

191

Tabela 1

192 Parâmetros de qualidade da água durante as fases de avaliação nos diferentes sistemas de
 193 cultivo comercial de garoupa-verdadeira.
 194

Parâmetros de qualidade da água					
Fase	Sistema de cultivo	Período de cultivo (dias)	Médias		
			Temperatura (°C)	Oxigênio (ml/L)	Salinidade (ppt)
1	SA	1 à 310	24,1	6,1	35
	SFC	311 à 730	23,6	6,1	35
2	TRM	311 à 730	24	6,3	35
	VE	311 à 730	21	7	17

195 SA= sistema de alevinagem; SFC= sistema de fluxo contínuo; TRM= tanque rede no mar;
 196 VE= viveiro escavado.

197

198 Durante o período experimental os peixes foram submetidos a três pesagens na
 199 primeira fase (48, 150 e 310 dias de idade) e três pesagens na segunda fase. Os pesos
 200 obtidos na segunda fase ocorreram em dias distintos devido a distância entre os sistemas
 201 de cultivo, não ultrapassando o intervalo de 10 dias entre as coletas. Assim, os dados de
 202 peso foram ajustados para as idades de 500, 660 e 730 dias por intermédio da equação
 203 $Y = ((P - PN) / I) \times Y + PN$, onde Y é o peso na idade que se deseja avaliar, P é o peso
 204 corporal mais próximo da idade-padrão, PN é o peso mais próximo do nascimento
 205 (eclosão) e I é a idade do animal no dia da mensuração. Para as análises das curvas de
 206 crescimento foram então utilizadas as informações de peso corporal aos 48, 150, 310,
 207 500, 660 e 730 dias de idade. Peixes que continham menos de quatro informações de
 208 mensurações foram excluídos das análises.

209

210 2.2 Curvas de Crescimento

211

212 A avaliação da curva de crescimento das garoupas foi realizada ajustando-se os
 213 modelos de Brody, Gompertz, Logístico, Richards, von Bertalanffy, (Tabela 2), por
 214 intermédio de análise de regressão não linear, utilizando-se o comando PROC NLIN do
 215 pacote estatístico SAS - *Statistical Analysis System*[®]. (SAS Institute Inc., 2011), pelo
 216 método dos quadrados mínimos ordinários com o algoritmo de Gauss-Newton. Para
 217 determinar o modelo que melhor se ajustava aos dados, utilizou-se uma curva média geral
 218 contendo informações de todos os sistemas de criação.

219

220 Tabela 2

221 Modelos não lineares utilizados para descrever o crescimento corporal da garoupa-
 222 verdadeira, da eclosão aos 730 dias de idade.

Modelo	Equação	Referência
Gompertz	$Y_t = Ae^{-Be^{Kt}} + \varepsilon$	Gompertz (1825)
Brody	$Y_t = A(1 - Be^{-kt})$	Brody (1945)
von Bertalanffy	$Y_t = A(1 - Be^{-Kt})^3 + \varepsilon$	von Bertalanffy (1957)
Richards	$Y_t = A(1 - Be^{-Kt})^m + \varepsilon$	Richards (1959)
Logístico	$Y_t = A(1 - Be^{-Kt})^{-m} + \varepsilon$	Nelder (1961)

223 Y = característica avaliada; A = resposta assintótica ou resposta média a maturidade; B =
 224 constante de integração sem interpretação biológica; e = base dos logaritmos naturais; K =
 225 variação da velocidade de crescimento associado a taxa de maturidade; t = idade; m =
 226 constante do modelo; ε = erro.

227

228 Para avaliar o modelo que melhor se ajustou aos dados foi utilizado o índice
 229 assintótico (IA), descrito por Ratkowsky (1990), sendo $IA = (DPA + DMA) - R^2_{aj}$. O índice
 230 combina os critérios de desvio padrão assintótico (DPA), calculado pela raiz quadrada do
 231 quadrado médio do resíduo; desvio médio absoluto (DMA) proposto por Sarmiento et al.

232 (2006), calculado como $DMA = \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{n}$, onde y_i é o valor observado, \hat{y}_i o valor

233 estimado e n o número amostral; e o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}),
 234 calculado por $R^2_{aj} = ((n-1)R^2 - p)/(n-p-1)$, em que p refere-se ao número de parâmetros da
 235 função, n ao número de observações e R^2 ao coeficiente de determinação. Após a escolha
 236 do melhor modelo, os dados foram ajustados separadamente para cada um dos sistemas
 237 de cultivo avaliados.

238 Utilizando-se os parâmetros da curva de crescimento do modelo que apresentou
239 melhor ajuste, foram avaliadas as características peso assintótico, representado pelo
240 parâmetro “a”, velocidade de crescimento, representado pelo parâmetro “k”, taxa de
241 crescimento assintótico (TCA), calculado por $TCA = a * b * k e^{(-be^{(-kt)})} e^{(-kt)}$ e ponto
242 de inflexão (IPT), calculado por $IPT = \text{Log}(b)/k$, onde a , b e k são os parâmetros estimados
243 pela curva de crescimento, e é a base dos logaritmos naturais e t corresponde a idade do
244 animal.

245 Após a estimação dos parâmetros da curva de crescimento o teste de Tukey foi
246 utilizado para comparação das médias nos diferentes sistemas de cultivo. Uma análise de
247 correlação também foi realizada para avaliar o grau de associação entre os parâmetros e
248 as características de interesse. Para a realização destas análises utilizou-se o pacote
249 estatístico SAS - *Statistical Analysis System*[®]. (SAS Institute Inc., 2011).

250

251 3. RESULTADOS

252

253 Observa-se que com o aumento da idade das garoupas, as mesmas obtiveram ganhos
254 de peso corporal progressivos em todos os sistemas de cultivo avaliados (Tabela 3).
255 Contudo, o crescimento dos animais foi em proporções diferentes, sendo o sistema TRM
256 o que apresentou maior média de peso corporal e o sistema VE menor média,
257 independentemente da idade avaliada.

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271 **Tabela 3**

272 Estatística descritiva para pesos corporais utilizados na estimativa dos parâmetros da
 273 curva de crescimento de garoupa-verdadeira criada em diferentes sistemas de cultivo
 274 comercial.

Sistema de cultivo	Fases	Idade (dias)	Pesos corporais (g)				
			N	M	DP	MIN	MAX
SA	1	48	385	2	-	2	2
		150	385	26	-	26	26
		310	382	139	36,40	57	264
SFC	2	500	131	447	84,11	191	658
		660	134	556	96,42	310	790
		730	134	587	114,43	335	881
TRM	2	500	172	507	126,66	138	872
		660	172	669	167,23	181	1150
		730	165	838	182,48	498	1506
VE	2	500	78	275	56,38	172	423
		660	78	394	76,85	248	557
		730	78	428	70,92	294	606

275 SA= sistema de alevinagem; SFC= sistema de fluxo contínuo; TRM= tanque rede no mar;
 276 VE= viveiro escavado; N= número de observações; M= média; DP= desvio padrão;
 277 MIN= valor mínimo observado; MAX= valor máximo observado.

278

279 Dentre os cinco modelos não lineares propostos para descrever o crescimento da
 280 garoupa-verdadeira, os modelos Brody e Richards não apresentaram convergência sendo
 281 estes excluídos das análises. Os demais modelos Gompertz, Logístico e von Bertalanffy,
 282 apresentaram convergência e os critérios de qualidade de ajustes estão apresentados na
 283 Tabela 4.

284

285

286

287

288

289

290

291 **Tabela 4**

292 Critérios de qualidade de ajuste para modelos não lineares utilizados para descrever o
 293 crescimento em garoupa-verdadeira.

Modelo	Critério de qualidade de ajuste			
	$R^2_{aj}(\%)$	DMA	DPA	IA
Gompertz	81,35	78,69	125,16	115,76
Logístico	81,35	78,24	125,16	115,20
von Bertalanffy	81,32	80,94	125,30	118,68

294 R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; DMA= desvio médio absoluto; DPA= desvio
 295 padrão assintótico; IA= índice assintótico.

296

297 O modelo Logístico foi o que apresentou menor valor de IA, sendo esse o mais
 298 indicado para descrever o crescimento da garoupa-verdadeira. Entretanto, vale ressaltar
 299 que os modelos Gompertz e von Bertalanffy também poderiam ser utilizados para
 300 descrever as curvas de crescimento, uma vez que apresentaram convergência dos dados e
 301 valores de IA próximos do observado no modelo Logístico. Todavia, a utilização destes
 302 modelos na predição da curva, poderiam apresentar uma menor acurácia na estimação dos
 303 parâmetros. Assim, para avaliar a curva de crescimento da garoupa-verdadeira adotou-se
 304 o modelo Logístico.

305 Houve diferença ($p < 0,05$) dos parâmetros da curva de crescimento das garoupas em
 306 relação aos sistemas de cultivo avaliados (Tabela 5). Observa-se que o parâmetro “A”, ou
 307 peso assintótico, interpretado como peso do animal à maturidade, apresentou maiores
 308 estimativas no sistema TRM, seguido pelo SFC e VE. Estes resultados indicam que as
 309 garoupas do sistema TRM são mais tardias do que as garoupas cultivadas nos demais
 310 sistemas. As estimativas dos parâmetros “A” foram superiores aos pesos observados aos
 311 730 dias de idade (Tabela 3), em qualquer um dos sistemas avaliados, o que sugere que o
 312 modelo pode ter superestimado os resultados ou os animais podem não ter atingido a
 313 maturidade até a idade avaliada.

314

315

316

317

318

319

320 **Tabela 5**
 321 Estimativas dos parâmetros das curvas de crescimento pelo modelo Logístico para
 322 garoupa-verdadeira criada em diferentes sistemas de cultivo comercial.

Parâmetros da curva	Sistemas de cultivo		
	SFC	TRM	VE
A (g)	650 ^b	1.257 ^a	561 ^c
b	32,90	12,94	8,75
K	0,008 ^a	0,005 ^b	0,005 ^b

323 A= peso assintótico ou peso médio a maturidade; b= constante de integração sem
 324 interpretação biológica; k= taxa de maturidade ou velocidade de crescimento do animal;
 325 SFC= sistema de fluxo contínuo; TRM= tanque rede no mar; TE= viveiro escavado.
 326 Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Tukey (<0,05).

327

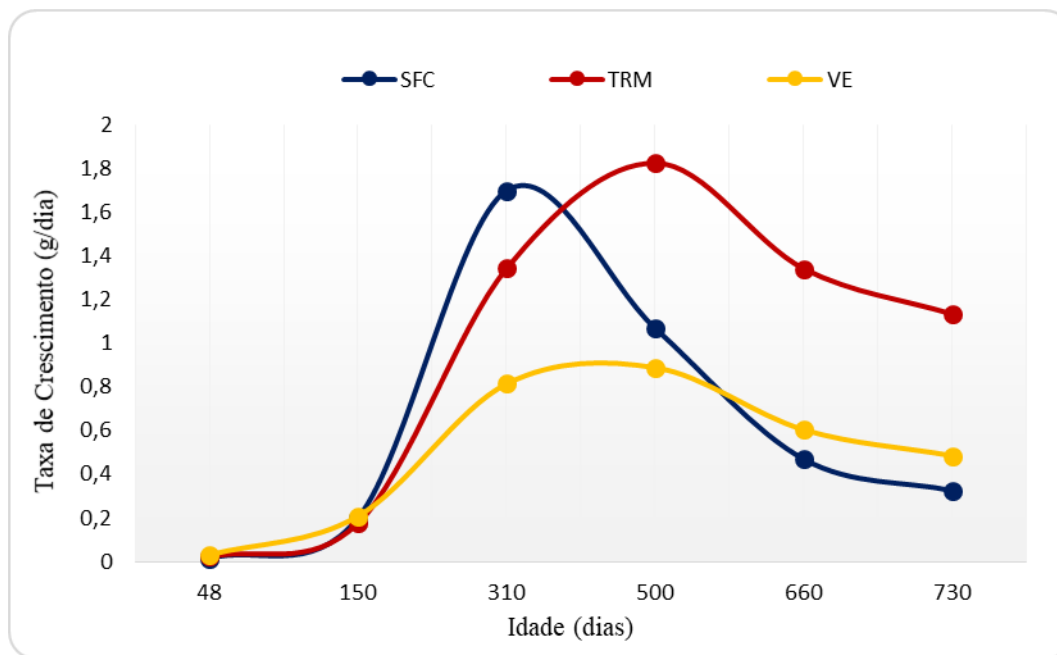
328 O parâmetro K, que representa a taxa de maturidade ou velocidade de crescimento
 329 do animal para atingir o peso assintótico, obteve maior estimativa no SFC e médias iguais
 330 nos sistemas TRM e VE. As correlações entre estes dois parâmetros (A e K) foram
 331 moderadas e negativas (-0,44), indicando que quanto maior a velocidade de crescimento
 332 do animal menor será o peso assintótico.

333 As maiores taxas de crescimento assintótico (TCA) ocorreram entre os 367 e 510
 334 dias de idade das garoupas. Nesta fase observa-se o ponto de inflexão (IPT), indicando
 335 que a partir desse momento os animais apresentaram mudanças no padrão de crescimento
 336 (Fig. 2). O valor máximo da TCA foi obtido no sistema TRM (1,8 g/dia) seguido do SFC
 337 (1,7 g/dia). Já o sistema VE foi o que apresentou menor índice de TCA (0,9 g/dia), valor
 338 esse bem inferior quando comparado aos demais sistemas de cultivo.

339

340

341



342

343 **Fig. 2.** Taxa de crescimento assintótico estimada pelo modelo Logístico para garoupa-
 344 verdadeira criada em diferentes sistemas de cultivo. SFC= sistema de fluxo contínuo,
 345 TRM= tanque rede no mar, VE= viveiro escavado.

346

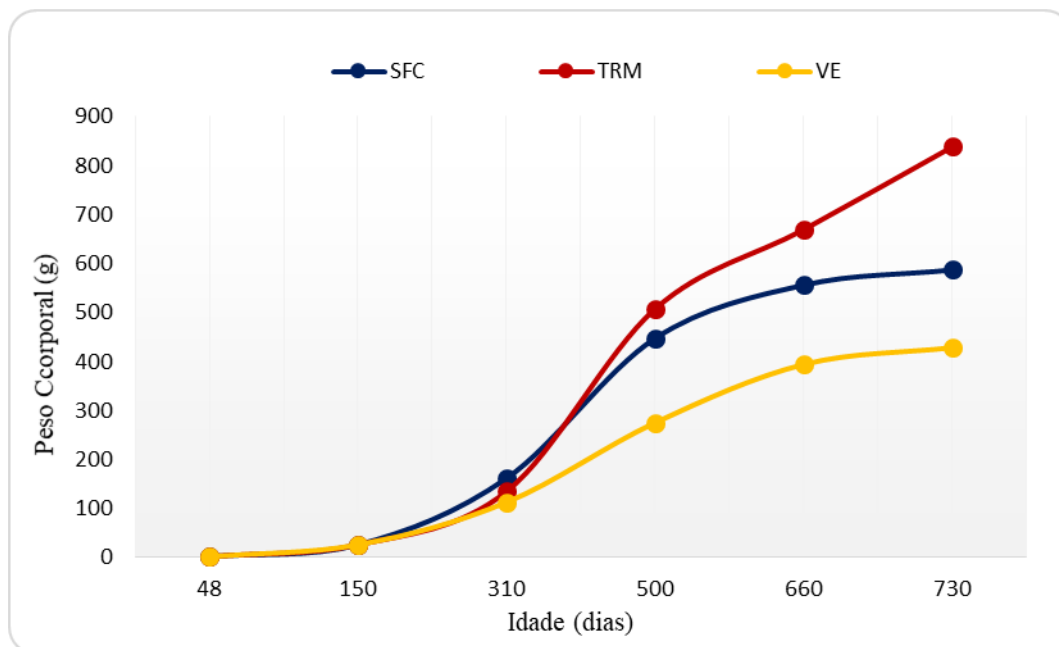
347 Apesar da estimativa máxima de TCA ter sido similar entre os cultivos SFC e TRM,
 348 a idade na qual elas ocorreram foram bem distintas, 367 e 510 dias respectivamente, o
 349 que sugere maior precocidade das garoupas do sistema SFC. Contudo, os resultados
 350 indicam que após atingirem o IPT, os peixes do cultivo SFC apresentaram uma
 351 desaceleração acentuada da TCA (de 1,7 g/dia para 0,3 g/dia) e conseqüentemente um
 352 menor ganho de peso corporal a partir dessa idade. O contrário foi observado no sistema
 353 TRM onde as garoupas apesar de terem sido mais tardias, apresentaram maiores TCA
 354 (máxima de 1,8 g/dia e mínima de 1,1 g/dia) promovendo melhor crescimento desses
 355 animais. O sistema VE foi o que obteve a menor variação de TCA (máxima de 0,9 g/dia
 356 e mínima de 0,5 g/dia) ao longo do período de cultivo das garoupas, sendo a IPT
 357 observada aos 438 dias de idade. Entretanto, os animais desse sistema de cultivo foram
 358 os que apresentaram menor desempenho durante o período avaliado.

359

360 As curvas de crescimento apresentaram padrões similares no que diz respeito ao
 361 desenvolvimento das garoupas. Os resultados demonstraram ganho de peso dos animais
 362 ao longo dos 730 dias avaliados, independente do sistema de cultivo adotado (Fig. 3). No
 363 entanto, a proporção de crescimento foi distinta entre os sistemas de produção, tendo as
 364 garoupas crescido em ritmos diferenciados. Observa-se que até os 310 dias os animais
 apresentaram crescimento semelhantes, entretanto, vale ressaltar que até essa idade as

365 garoupas encontravam-se cultivadas sob as mesmas condições. Após os 310 dias de
 366 cultivo os animais apresentaram médias de peso corporal distintas, sugerindo que as
 367 condições de cultivo influenciaram o desempenho dos peixes.

368



369

370 **Fig. 3.** Curva de crescimento para garoupa-verdadeira criada em diferentes sistemas de
 371 cultivo. SFC= sistema de fluxo contínuo, TRM= tanque rede no mar, VE= viveiro
 372 escavado.

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

As médias de peso corporal das garoupas aos 500 dias foram próximas no SFC e TRM em comparação ao VE, sugerindo que até este período os sistemas de cultivo apresentavam condições favoráveis para o desenvolvimento das garoupas. No sistema SFC e VE observa-se que a partir dos 660 dias a curva de crescimento dos peixes se tornou mais retilínea, sendo o ganho de peso médio durante este período de 31g e 34g respectivamente, o que indica um desempenho mais lento dos animais nesta fase. Já no sistema TRM, durante o mesmo período, a curva de crescimento foi mais acentuada quando comparado aos demais sistemas de cultivo, sendo o ganho de peso médio de 169g.

Estes resultados indicam que o sistema TRM foi o que apresentou condições mais favoráveis para o cultivo de garoupas, uma vez que apresentaram melhor média de peso corporal, contudo, os animais foram mais tardios do que nos demais sistemas de cultivo.

389 4. DISCUSSÃO

390

391 Dentre as diferentes funções não lineares propostas para descrever o crescimento
392 da garoupa-verdadeira, o modelo Logístico foi o que apresentou melhor ajuste. Esse
393 mesmo modelo foi apontado como o mais adequado para avaliar o crescimento de
394 espécies de água doce como *Colossoma macropomum* (Costa et al., 2013), *Oreochromis*
395 *sp.* (Ansah & Frimpong 2015) e *Hoplias malabaricus* (Faria et al., 2019). Em espécies
396 marinhas, onde são poucos os estudos que avaliam o crescimento dos peixes, a equação
397 von Bertalanffy foi utilizada para descrever o desenvolvimento de animais do gênero
398 *Thunnus sp.* (Neilson & Campana, 2008; Restrepo et al., 2010) e *Epinephelus sp.* (Jones,
399 2000; Craig, 2007; Renões et al., 2007; Condini et al., 2014), resultados que diferem do
400 presente estudo. Esta divergência pode ter ocorrido devido a utilização da equação von
401 Bertalanffy ter sido assumida sem a realização de nenhum procedimento de seleção dos
402 modelos, o que tem sido uma prática comum na aquicultura segundo Ansah & Frimpong
403 (2015). Além disso, o ajuste dos modelos pode variar de acordo com o gênero, espécie e
404 condições de cultivo devendo estes serem testados de acordo com o conjunto de dados a
405 ser avaliado (Yun et al., 2015). A escolha de um modelo adequado para avaliar o
406 crescimento da espécie é de grande importância econômica pois, permite prever com
407 maior acurácia a idade e o peso vivo na fase de crescimento máximo, taxa de maturidade,
408 ganho de peso e melhor idade para abate (Yun et al., 2015).

409 De forma geral, os sistemas de cultivo promoveram diferenças no desempenho das
410 garoupas, o que já era esperado, uma vez que o ambiente atua sob a expressão do fenótipo
411 dos animais. O crescimento é uma função somática que reflete o equilíbrio entre muitos
412 fatores, sendo eles genéticos, nutricionais e físico-químicos do sistema de cultivo
413 (Shapawi et al., 2019; Triantaphyllopoulos et al., 2020).

414 O peso assintótico, estimado pelo modelo Logístico, foi superior ao peso observado
415 aos 730 dias de cultivo das garoupas. Acredita-se que este parâmetro pode ter sido
416 superestimado pela equação. Em estudos com tilápias, Zardin et al. (2019) utilizaram
417 diferentes modelos para avaliar o crescimento dos peixes e observaram que todas as
418 equações superestimaram o peso assintótico dos animais.

419 As estimativas de velocidade de crescimento observadas neste estudo foram
420 menores do que as relatadas na literatura. Em estudos avaliando garoupas selvagens do
421 Sudoeste do Atlântico, Condini et al. (2014) relataram valor de $K=0,129$. Renões et al.

422 (2007) em estudos com garoupas do Mediterrâneo Ocidental encontraram valor de $K=$
423 $0,087$. Seyboth et al. (2011) observando garoupa do Sul do Atlântico Ocidental, relataram
424 $K= 0,069$. Avaliando o crescimento de garoupa-verdadeira no sudoeste do Brasil,
425 Ximenes-Carvalho et al. (2012) informaram um valor de $K= 0,075$. Contudo, os
426 resultados encontrados na literatura descrevem o valor de K para animais capturados na
427 natureza, onde as idades variaram de 1 a 67 anos, enquanto neste estudo as garoupas
428 foram avaliadas até os 2 anos de idade. A diferença nas idades de avaliação pode ter
429 promovido maiores estimativas de K para os dados da literatura, o que divergiu dos
430 resultados do presente estudo.

431 As estimativas para os parâmetros da curva indicaram que os animais do sistema
432 TRM foram mais tardios, apresentando maior peso assintótico (parâmetro A) quando
433 comparados ao sistema SFC e VE e menor velocidade de crescimento (parâmetro K)
434 quando comparado ao sistema SFC. Esta relação entre maior peso assintótico e menor
435 velocidade de crescimento já é conhecida na literatura e também foi observada em estudos
436 com peixes (Ximenes-Carvalho et al., 2012, Allaman et al., 2013; Wang and Ma, 2016).

437 Os melhores resultados de crescimento das garoupas foram obtidos no sistema
438 TRM, onde os valores de TCA e o peso corporal foram superiores aos demais cultivos
439 avaliados. Acredita-se que um dos principais fatores que promoveram a diferença no
440 desempenho esteja relacionado ao tipo de alimentação fornecida aos animais. Diferente
441 dos sistemas SFC e VE, onde as garoupas foram alimentadas com ração, no sistema TRM
442 utilizou-se *trash fish*. Pesquisas anteriores demonstraram que a utilização de *trash fish* na
443 alimentação de *Epinephelus* apresentaram melhores resultados que a utilização de ração
444 (Botero & Ospina, 2003; Sanches et al., 2007). De acordo com Shapawi et al. (2019) as
445 garoupas são altamente carnívoras e exigem uma proporção significativa de proteína e
446 energia para que tenham um bom crescimento. Estudos realizados ao longo dos últimos
447 anos sugeriram que o nível proteico exigido por esta espécie seja de 40 a 50% e a
448 necessidade lipídica de 8 a 16% (Tuan & Williams 2007; Shapawi et al., 2014; Yu et al.,
449 2016). Entretanto, a necessidade nutricional entre espécies de garoupas se divergem,
450 principalmente em relação aos lipídeos e suas proporções com proteínas. Shapawi et al.
451 (2019) em estudos com garoupas híbridas, apontaram a baixa capacidade desse peixe em
452 oxidar os lipídeos como fonte de energia metabólica. Apesar do esforço para compreender
453 melhor as exigências nutricionais das garoupas, estudos relacionados as necessidades
454 nutricionais de peixes marinhos ainda são incipientes e a falta de informação adequada às

455 espécies inviabiliza o crescimento dos animais (Sanchez et al., 2014).

456 Apesar de já existirem rações comerciais para garoupas, a maior parte do cultivo
457 desses peixes ainda depende fortemente da utilização de *trash fish* (Rimmer &
458 Glamuzina, 2019). Seu uso está relacionado diretamente ao baixo custo e a semelhança
459 ao alimento natural. Porém, existem controvérsias quanto o uso desse tipo de alimentação:
460 curto período de armazenamento, disponibilidade sazonal, risco de contaminação e
461 problemas ambientais (Sim et al., 2005; Suwirya & Giri, 2005). Por esses motivos, a
462 utilização de ração na alimentação desses animais tem sido cada vez mais utilizada pelos
463 produtores (Guerrero, 2014).

464 No início da pesquisa acreditava-se que o cultivo de garoupas em sistemas VE
465 poderia ser uma alternativa de produção para o Sul do país. Isso porque muitos destes
466 sistemas têm sido inutilizados em fazendas de criação de camarão, o que poderia vir a ser
467 uma nova atividade para a região, empregando-se um menor custo de implementação.
468 Este sistema de cultivo é comum em muitos países da Ásia (Petersen et al., 2013; Rimmer
469 & Glamuzina, 2019). Todavia, os resultados demonstraram que as garoupas produzidas
470 no sistema TE foram as que apresentaram menor crescimento corporal ao longo do
471 período de avaliação.

472 Vários fatores podem ter influenciado o crescimento das garoupas do sistema VE
473 quando comparado aos demais cultivos avaliados, contudo, acredita-se que o principal
474 motivo tenha sido devido à baixa salinidade apresentada durante todo o período de
475 produção. Condições de baixa salinidade podem promover efeitos adversos no
476 crescimento de peixes, atuando principalmente sobre o metabolismo do animal (Li et al.,
477 2017, Shapawi et al., 2019). O estresse salino promove alterações na produção de
478 hormônios, no equilíbrio hidromineral, na atividade locomotora e no consumo de
479 alimentos, fazendo com que ocorra queda no desempenho produtivo (Lui et al., 2019). A
480 menor produtividade ocorre devido a mobilização de mais energia para realizar a
481 regulação iônica, desviando assim a energia que seria utilizada para o processo de
482 crescimento (Othman et al., 2015).

483 Em trabalhos com *Trachinotus ovatus*, Lui et al. (2019) relataram que a salinidade
484 afetou o peso corporal, taxa de sobrevivência, ganho de peso, taxa de crescimento
485 específico e conversão alimentar. Condini et al. (2014) atribuíram o menor crescimento
486 de garoupas a variações de salinidade, sugerindo que este fator pode desempenhar um
487 papel significativo no crescimento dos animais. Gracia López & Castelló-Orvay (2003)

488 cultivando garoupa-verdadeira, observaram que a salinidade de 35 ppt foi a que promoveu
489 maior crescimento dos peixes. Em cultivos de híbridos produzidos de *Epinephelus*
490 *fuscoguttatus* x *Epinephelus lanceolatus*, Shapawi et al. (2019) sugerem o cultivo dos
491 animais a condições de salinidade mínima de 30 ppt. Os valores citados são muito
492 superiores aos praticados no sistema VE, o que pode ter inviabilizado o crescimento dos
493 peixes.

494 As garoupas são peixes conhecidos por apresentar um desenvolvimento lento em
495 relação a outras espécies aquícolas. Um estudo com *Epinephelus marginatus* capturadas
496 no Mar Mediterrâneo Ocidental, demonstrou que os animais apresentavam uma média de
497 peso corporal de 47 g no primeiro ano de vida e 266 g no segundo ano de vida (Reñones
498 et al. 2007). Conдини et al. (2014) capturaram *Epinephelus marginatus* no sudoeste do
499 atlântico e observaram a média de peso corporal de 47 g para animais de um ano de idade
500 e 602 g para dois anos de idade. Apesar do crescimento lento em condições naturais, o
501 presente trabalho apontou que a garoupa-verdadeira ao ser cultivada em sistemas
502 comerciais, apresenta média de peso corporal superior as garoupas selvagens. Segundo
503 Baer et al. (2010) o crescimento dos peixes em sistema de produção aquícola é diferente
504 do crescimento de peixes na natureza, o que é um fator importantíssimo no que diz
505 respeito aos benefícios econômicos.

506 A maior parte das garoupas comercializadas na América tem sido adquiridas por
507 meio da pesca extrativista, o que faz com que os animais sejam, em sua maioria, de grande
508 porte. Contudo, o mercado asiático tem comercializado as garoupas cultivadas em
509 sistemas de produção comercial com peso corporal entre 400 e 1.000 g (Pierre et al., 2008;
510 Petersen et al., 2013; Guerrero, 2014; Rimmer & Glamuzina, 2019). Observa-se assim,
511 que as garoupas cultivadas nos sistemas avaliados do presente estudo (SFC, TRM e VE)
512 atingiram peso corporal de mercado ao final de 730 dias de cultivo, podendo estes serem
513 utilizados para produção desses peixes. Dependendo do peso de comércio praticado, as
514 garoupas do sistema SFC e TRM podem ter seu período de cultivo reduzido, trazendo
515 retornos mais rápidos ao produtor.

516

517

518

519

520

521 5. AGRADECIMENTOS

522

523 Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
524 Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e as empresas Redemar Alevinos,
525 Mar do Brasil e Maricultura Costa Verde pela estrutura para a realização dos
526 experimentos de campo.

527

528 6. REFERÊNCIAS

529

530 Allaman, A. B., Reis Neto, R. V., Freitas, R. T. F., Freato, T. A., Lago, A. A., Costa, A.
531 C., Lima, R. R., 2013. Weight and morphometric growth of different strains of tilapia
532 (*Oreochromis* sp). R. Bras. Zootec. 42, 305-311. [https://doi.org/10.1590/S1516-](https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000500001)
533 35982013000500001

534

535 Ansah, Y. B., Frimpong, E. A., 2015. Using model-based inference to select a
536 predictive growth curve for farmed tilapia. N. Am. J. Aquac. 77, 281-288.
537 <https://doi.org/10.1080/15222055.2015.1020080>

538

539 Baer, A., Schulz, C., Traulsen, I., Krieter, J., 2010. Analysing the growth of turbot
540 (*Psetta maxima*) in a commercial recirculation system with the use of three different
541 growth models. Aquac. Int. 19, 497-511. <https://doi.org/10.1007/s10499-010-9365-0>

542

543 Begossi, A., Salyvonchik, S., Glamuzina, B., Souza, S. P., Lopes, P. F. M., Priolli, R.
544 H. G., Prado, D. O., Ramires, M., Clauzet, M., Zapelini, C., Schneider, D. T., Silva, L.
545 T., Silvano, R. A M., 2019. Fishers and groupers (*Epinephelus marginatus* and *E.*
546 *morio*) in the coast of Brazil: integrating information for conservation. J. Ethnobiol.
547 Ethnomed. 15, 1-26. <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0331-2>

548

549 Boglione, C., Marino, G., Giganti, M., Longobardi, A., De Marzi, P., Cataudella, S.,
550 2009. Skeletal anomalies in dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834)
551 juveniles reared with different methodologies and larval densities. Aquaculture. 291,
552 48-60. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.02.041>

553

554 BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2018. Plano de recuperação da garoupa-
555 verdadeira (*Epinephelus marginatus*), no litoral sudeste e sul do Brasil. Brasília. 53p.

556

557 Brody, S., 1945. Bioenergetics and growth: with special reference to the efficiency
558 complex of domestic animals. New York, Hafner. 1023p.

559

560 Botero, J. Y., Ospina, J. F., 2003. Crecimiento y desempeño general de juveniles
561 silvestres de condiciones de cultivo. Bol. Invest. Mar. Cost. 32, 25-36.

562

563

564

- 565 Condini, M. V., Albuquerque, C. Q., Garcia, A. M., 2014. Age and growth of dusky
566 grouper (*Epinephelus marginatus*) (Perciformes: Epinephelidae) in the southwestern
567 Atlantic, with a size comparison of offshore and littoral habitats. Fish. Bull. 112, 311-
568 321. <https://doi.org/10.7755/FB.112.4.7>
569
- 570 Costa, L. R. F., Barthem, R. B., Albernaz, A. L., Bittencourt, M. M., Villacorta-Corrêa,
571 M. A., 2013. Modelling the growth of tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier,
572 1816) in floodplain lakes: model selection and multimodel inference. Braz. J. Biol. 73,
573 397-403. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842013000200021>
574
- 575 Craig, M. T., 2007. Preliminary observations on the life history of the white-streaked
576 grouper, *Epinephelus ongus*, from Okinawa, Japan. Ichthyol. Res. 54, 81-84.
577 <https://doi.org/10.1007/s10228-006-0377-8>
578
- 579 FAO, 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture - Contributing to food
580 security and nutrition for all. Roma, FAO. 200 p.
581
- 582 Faria, M. D. R., Cavalcante-Neto, A., Allaman, I. B.; Gomes, A. D., Moreira, R. G.,
583 Hallerman, E. M., Hilsdorf, A. W. S., 2019. The potential of *Hoplias malabaricus*
584 (Characiformes: Erythrinidae), a Neotropical carnivore, for aquaculture. Aquaculture
585 Fish. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.01.002>
586
- 587 Gracia López, V., Castelló-Orvay, F., 2003. Preliminary data on the culture of juveniles
588 of the dusky grouper, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834). Hidrobiológica. 13, 321-
589 327.
590
- 591 Guerrero, R. D., 2014. Philippines target grouper farming for live fish exports.
592 Aquaculture Asia-Pacific. 10, 42-43.
593
- 594 Gompertz, B., 1825. On the nature of the function expressive of the law of human
595 mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Philos.
596 Trans. R. Soc. Lond. 115, 513-583.
597
- 598 Harmelin-Vivien, M., Craig, M. T., 2015. *Epinephelus marginatus*. The IUCN Red List
599 of Threatened Species 2015, e.T7859A44904558.
600
- 601 Jones, C. M., 2000. Fitting growth curves to retrospective size-at-age data. Fish. Res.
602 46, 123-129. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(00\)00139-9](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00139-9)
603
- 604 Li, S., He, F., Wen, H., Li, J., Si, Y., Liu, M., Huang, Y., Meng, L., 2017. Low salinity
605 affects cellularity, DNA methylation, and mRNA expression of *igf1* in the liver of half
606 smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*). Fish. Physiol. Biochem. 43, 1587-1602.
607 <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0395-7>
608
- 609 Liu, B., Guo, H. Y., Zhu, K. C., Guo, L., Liu, B. S., Zhang, N., Yang, J. W., Jiang, S.
610 G., Zhang, D. C., 2019. Growth, physiological, and molecular responses of Golden
611 pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus, 1758) reared at different salinities. Fish.
612 Physiol. Biochem. 45, 1879-1893. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00684-9>
613

- 614 Neilson, J. D., Campana, S. E., 2008. A validated description of age and growth of
615 western Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65, 1523-
616 1527. <https://doi.org/10.1139/F08-127>
617
- 618 Nelder, J. A., 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics.* 17,
619 89-110. <https://doi.org/10.2307/2527498>
620
- 621 Othman, A. R., Kawamura, G., Senoo, S., Ching, F. F., 2015. Effect of different
622 salinities on growth, feeding performance and plasma cortisol level in hybrid TGGG
623 (tiger grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* x giant grouper, *E. lanceolatus*) juveniles. *Int.*
624 *Res. J. Biol. Sci.* 4, 15-20.
625
- 626 Petersen, E. H., My Chinh, D. T., Diu, N. T., Phuoc, V. V., Phuong, T. H., Dung, N. V.,
627 Dat, N. K., Pham Truong Giang, P. T., Glencross, B. D., 2013. Bioeconomics of
628 grouper, Serranidae: Epinephelinae, culture in Vietnam. *Rev. Fish. Sci.* 21, 49-57.
629 <https://doi.org/10.1080/10641262.2012.753403>
630
- 631 Pierre, S., Gaillard, S., Prevot-D'alvise, N., Aubert, J., Rostaing-Capaillon, O., Leung-
632 Tack, D., Grillasca, J. P., 2008. Grouper aquaculture: Asian success and Mediterranean
633 trials. *Aquat. Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.* 18, 297-308.
634 <https://doi.org/10.1002/aqc.840>
635
- 636 Pollard, D. A., Afonso, P., Bertoncini, A. A., Fennessy, S., Francour, P., Barreiros, J.,
637 2018. *Epinephelus marginatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018,
638 e.T7859A100467602.
639
- 640 Ratkowsky, D. A., Giles, D. E. A., 1990. Handbook of nonlinear regression models.
641 New York, M. Dekker.
642
- 643 Reñones, O., Piñeiro, C., Mas, X., Goñi, R., 2007. Age and growth of the dusky grouper
644 *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) in an exploited population of the western
645 Mediterranean Sea. *J. Fish Biol.* 71, 346-362. [https://doi.org/10.1111/j.1095-
646 8649.2007.01482.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01482.x)
647
- 648 Restrepo, V. R., Diaz, G. A., Walter, J. F., Neilson, J. D., Campana, S. E., Secor, D.,
649 Wingate, R. L., 2010. Updated estimate of the growth curve of Western Atlantic bluefin
650 tuna. *Aquat. Living. Resour.* 23, 335–342. <https://doi.org/10.1051/alr/2011004>
651
- 652 Richards, F. J., 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10, 290-
653 301. <https://doi.org/10.1093/jxb/10.2.290>
654
- 655 Rimmer, M. A., Glamuzina, B., 2019. A review of grouper (Family Serranidae:
656 Subfamily Epinephelinae) aquaculture from a sustainability science perspective. *Rev.*
657 *Aquac.* 11, 58-87. <https://doi.org/10.1111/raq.12226>
658
- 659 Sanches, E. G., Azevedo, V. G., Costa, M. R., 2007. Criação da garoupa-verdadeira
660 *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Teleostei, Serranidae) alimentada com rejeito de
661 pesca e ração úmida em tanques-rede. *Atlântica.* 29, 121-126.
662

- 663 Sanches, E. G., Silva, F. C., Leite, J. R., Silva, P. K. A., Kerber, C. E., Santos, P. A.,
664 2014. A incorporação de óleo de peixe na dieta pode melhorar o desempenho da
665 garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus*? Bol. Inst. Pesca. 2, 147-155.
666
- 667 Sarmiento, J. L. R., Regazzi, A. J., Sousa, W. H. D., Torres, R. D. A., Breda, F. C.,
668 Menezes, G. R. D. O. 2006. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. R.
669 Bras. Zootec. 35, 435-442. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000200014>
670
- 671 SAS INSTITUTE INC, 2011. Base SAS® 9.3 Procedures Guide: Statistical Procedures.
672 Cary, SAS Institute Inc. 528p.
673
- 674 Seyboth, E., Condini, M. V., Albuquerque, C. Q., Varela, A. S., Velasco, G., Vieira, J.
675 P., Garcia, A. M., 2011. Age, growth, and reproductive aspects of the dusky grouper
676 *Mycteroperca marginata* (Actinopterygii: Epinephelidae) in a man-made rocky habitat
677 in southern Brazil. Neotrop. Ichthyol. 9, 849-856. [https://doi.org/10.1590/S1679-](https://doi.org/10.1590/S1679-62252011005000038)
678 [62252011005000038](https://doi.org/10.1590/S1679-62252011005000038)
679
- 680 Sim, S. Y., Rimmer, M. A., Toledo, J.D., Sugama, K., Rumengan, I., Williams, K. C.,
681 Phillips, M. J., 2005. A practical guide to feeds and feed management for cultured
682 groupers. Thailand, NACA. 18 p.
683
- 684 Shapawi, R., Ebi, I., Yong, A. S. K., Ng, W. K., 2014. Optimizing the growth
685 performance of brown-marbled grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsk.) by varying
686 the proportion of dietary protein and lipid levels. Anim. Feed. Sci. Tech. 191, 98-105.
687 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.01.020>
688
- 689 Shapawi, R., Abdullah, F. C., Senoo, S., Mustafa, S., 2019. Nutrition, growth and
690 resilience of tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) x giant Grouper (*Epinephelus*
691 *lanceolatus*) hybrid- a review. Rev. Aquac. 11, 1285-1296.
692 <https://doi.org/10.1111/raq.12292>
693
- 694 Suwirya, K., Giri, N. A., 2005. Feed development and application for juvenile grouper.
695 Aquaculture Asia Mag. 45, 34-35.
696
- 697 Triantaphyllopoulos, K. A., Cartas, D., Miliou, H., 2020. Factors influencing GH and
698 IGF-I gene expression on growth in teleost fish: how can aquaculture industry benefit?
699 Rev. Aquac. 12, 1637-1662. <https://doi.org/10.1111/raq.12402>
700
- 701 Tuan, L. A., Williams, K. C., 2007. Optimum dietary protein and lipid specifications for
702 juvenile Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*). Aquaculture. 267, 129-138.
703 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.03.007>
704
- 705 Von Bertalanffy, L., 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. Q. Rev. Biol.
706 32, 217-231. <https://doi.org/10.1086/401873>
707
- 708 Ximenes-Carvalho, M. O., Fonteles-Filho, A. A., Paiva, M. P., 2012. Idade e
709 crescimento da garoupa-verdadeira, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces:
710 Epinephelidae), no sudeste do Brasil. Arq. Cienc. Mar. 45, 5-16.
711

- 712 Yu, H., You, X. X., Shi, Q., 2016. Research advances on molecular breeding of
713 groupers in China. *Austin J. Mol. & Cell. Biol.* 3, 1008.
714
- 715 Yun, B., Yu, X., Xue, M., Liu, Y., Wang, J., Wu, X., Han, F., Liang, X., 2015. Effects
716 of dietary protein levels on the long-term growth response and fitting growth models of
717 gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *Anim. Nutr.* 1, 70-76.
718 <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.05.003>
719
- 720 Wang, X., Ma, A., 2016. Comparison of four nonlinear growth models for effective
721 exploration of growth characteristics of turbot *Scophthalmus maximus* fish strain. *Afr. J.*
722 *Biotechnol.* 15, 2251-2258. <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15490>
723
- 724 Zardin, A. M. S. O., Oliveira, C. A. L., Oliveira, S. N., Yoshida, G. M., Albuquerque,
725 D. T., Campos, C. M., Ribeiro, R. P., 2019. Growth curves by Gompertz nonlinear
726 regression model for male and female Nile tilapias from different genetic groups.
727 *Aquaculture*, 511, 734243. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734243>
728

ARTIGO 2

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico Aquaculture Research

**MEDIDAS MORFOMÉTRICAS ASSOCIADAS A PESOS E RENDIMENTOS
PÓS-ABATE EM GAROUPA-VERDADEIRA (*Epinephelus marginatus*)**

RESUMO

34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66

O conhecimento da associação entre medidas morfométricas com pesos e rendimentos corporais são importantes no ponto de vista econômico, uma vez que possibilita estimar a produtividade dos peixes. Assim, objetivou-se verificar a associação entre medidas morfométricas e suas relações com pesos e rendimentos corporais em garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*). Foram utilizados 150 exemplares de garoupas com peso médio de 680 ± 221 g. Os peixes foram abatidos, pesados, medidos e processados para obtenção de pesos e rendimentos corporais. Os efeitos diretos e indiretos foram avaliados pelo método da análise de trilha, considerando os pesos de abate, peso de partes do corpo e rendimentos do corpo como variáveis dependentes e as medidas morfométricas e suas relações como variáveis explicativas. Os resultados obtidos sugerem que as medidas morfométricas podem ser utilizadas para estimativa de grande parte dos pesos e rendimentos corporais da garoupa-verdadeira. Dentre as medidas e relações morfométricas avaliadas, a altura do peixe e o comprimento padrão foram responsáveis por explicar grande parte das variações de pesos e rendimentos do corpo da espécie. Estas variáveis podem servir como critérios de seleção indireta quando o objetivo for obter peixes com melhores desempenhos produtivos.

Palavras-chave: Análise de trilha, Correlação, Efeito direto e indireto, Morfometria

ABSTRACT

67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99

Knowledge of the association between morphometric measures with body weight and yield are important from an economic point of view, as they make it possible to estimate the productivity of fish. Thus, aimed to verify the association between morphometric measures and their relations with body weights and yields in dusky grouper (*Epinephelus marginatus*). Were used 150 individuals of dusky grouper with a medium weight of 680 \pm 221 g. Fishes were slaughtered, weighed, measured and processed to obtain body weight and yield. Direct and indirect effects were evaluated by trail analysis, considering slaughter weight, body parts weight and yields as dependent variables and morphometric measures and their relations as explanatory variables. Obtained results suggest that morphometric measures can be used to estimate a large part of the body weights and yields in dusky grouper. Between the measures and morphometric relations evaluated, fishes' height and standard length were responsible for explaining most of the variations of body weight and yields of the species. These variables can be used as criteria for indirect selection for obtaining fishes with better productive performances.

Keywords: Trail analysis, Correlation, Direct and indirect effect, Morphometry

100 1. INTRODUÇÃO

101

102 As garoupas são peixes de grande importância econômica e elevado valor
103 comercial (Condini et al., 2014; Begossi et al., 2016). São muito apreciadas na culinária
104 devido a qualidade da carne e suas propriedades sensoriais (Sadovy de Mitcheson et al.,
105 2013; Begossi & Lopes, 2020). Normalmente são comercializadas inteiras na forma *in*
106 *natura*, tendo como principais consumidores hotéis e restaurantes especializados em
107 frutos do mar (Begossi et al., 2019; Rimmer & Glamuzina, 2019). Entretanto, a
108 comercialização de filé de garoupa já tem sido realizada, mesmo que em menor escala,
109 por algumas indústrias (Nithin et al., 2013), podendo agregar ainda mais valor ao produto.

110 A indústria de pescado em geral, tem realizado não só a comercialização de peixes
111 eviscerados como também de cortes nobres como filés, postas e costelas, produtos
112 bastante apreciados e valorizados pelo mercado consumidor (Reis Neto et al., 2012;
113 Ribeiro et al., 2019). Devido à importância econômica e produtiva, estas características
114 têm sido cada vez mais utilizadas como critérios de seleção em programas de
115 melhoramento genético. Contudo, a seleção de peixes para características de pesos e
116 rendimentos corporais são complexas, uma vez que a mensuração dos fenótipos envolve
117 o abate do animal e a perda de um possível reprodutor dentro do plantel (Ribeiro et al.,
118 2019). Assim, medidas morfométricas e suas relações têm sido frequentemente utilizadas
119 como medidas auxiliares em estudos relacionados a pesos e rendimentos de carcaça de
120 peixes (Reis Neto et al., 2012; Melo et al., 2013; Luxinger et al., 2018; Botelho et al.,
121 2019; Ribeiro et al., 2019; Onyekwelu et al., 2020).

122 A utilização de medidas morfométricas para avaliação de pesos e rendimentos
123 corporais é particularmente importante para o sistema de produção, uma vez que muitas
124 destas variáveis encontram-se correlacionadas, possibilitando a estimativa da
125 produtividade sem necessidade de abate do animal (Melo et al., 2013; Ribeiro et al.,
126 2019). Contudo, a correlação simples não é suficiente para explicar todos os aspectos
127 dessa relação. Sua utilização permite apenas informações sobre direção e magnitude da
128 associação entre duas características, não determinando a importância das influências
129 diretas e indiretas sobre um conjunto de variáveis (Reis Neto et al., 2012; Melo et al.,
130 2013; Ribeiro et al., 2019).

131 A análise de trilha, proposta por Wright (1921; 1923) surge como uma ferramenta
132 que possibilita avaliar as relações existentes entre um grupo de variáveis por meio de

133 equações de regressão. O método possibilita a compreensão das causas envolvidas nas
134 associações entre as características através da decomposição da correlação existente em
135 efeitos diretos e indiretos (Cruz et al., 2012; Reis Neto et al., 2012; Botelho et al., 2019).

136 Medidas e relações morfométricas que contribuem com o peso corporal e
137 rendimentos em garoupas ainda não foram relatadas na literatura. Desta forma, o trabalho
138 foi realizado com o objetivo de avaliar, por meio da correlação fenotípica, os efeitos
139 diretos e indiretos das medidas morfométricas e suas relações sobre os pesos e
140 rendimentos corporais de garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*).

141

142 2. MATERIAL E MÉTODOS

143

144 Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da
145 Universidade de Mogi das Cruzes, SP, protocolo número 005/2020, cujos critérios de
146 avaliação são estabelecidos pela Lei Federal nº 11.794. (8 de outubro de 2008).

147 Foram utilizadas um total de 150 garoupas (*Epinephelus marginatus*) com 730
148 dias de idade, adquiridas de sistema de cultivo comercial. Os peixes foram submetidos a
149 jejum de 24 horas e posteriormente eutanasiados por meio de secção da medula espinhal
150 seguido de sangria, conforme proposto por Pedrazzani et al. (2009).

151 Inicialmente os peixes foram pesados em balança digital, originando a variável
152 peso corporal (PC), e posteriormente submetidos a avaliação morfométrica e obtenção
153 dos rendimentos corporais. Todas as medidas de morfometria foram obtidas com auxílio
154 de ectiômetro e paquímetro, sendo elas: comprimento padrão (CP), que corresponde da
155 parte anterior da cabeça ao final do pedúnculo caudal; comprimento da cabeça (CAB),
156 correspondido entre a extremidade anterior da cabeça e a borda do opérculo; altura (ALT),
157 realizada da extremidade da nadadeira peitoral a extremidade da nadadeira dorsal; largura
158 (LAR), equivalente à distância existente entre as duas nadadeiras dorsais (Figura 1).
159 Como complementação foram calculadas as relações morfométricas: comprimento da
160 cabeça/comprimento padrão (CAB/CP); altura/comprimento padrão (ALT/CP);
161 largura/comprimento padrão (LAR/CP); largura/comprimento da cabeça (LAR/CAB);
162 comprimento da cabeça/altura (CAB/ALT) e largura/altura (LAR/ALT).

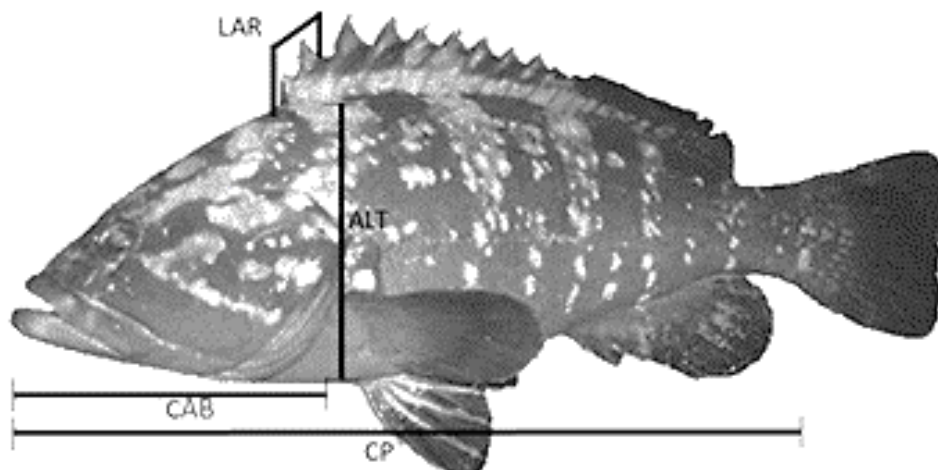


Figura 1 Medidas morfométricas para garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*): comprimento padrão (CP), comprimento de cabeça (CAB), altura (ALT) e largura (LAR)

Para obtenção dos pesos e rendimento corporais, os peixes foram eviscerados e seccionados em diferentes cortes. Inicialmente, realizou-se um corte transversal após a borda do opérculo, separando a cabeça do tronco. Posteriormente foram retiradas as nadadeiras dorsal, peitoral e caudal. Das 150 garoupas, 90 foram filetadas, separando-se o filé da espinha dorsal, sendo posteriormente retirada a pele. Nas 60 garoupas restantes, foram realizados cortes transversais, com espessura de 3 cm de largura ao longo do tronco do animal, gerando as informações de postas. Assim, foram obtidas as variáveis peso de carcaça (PCAR), correspondente ao peso do animal sem vísceras; peso de filé (PF), correspondente ao peso do filé sem a pele; peso de posta (PP), correspondente ao peso da somatória das postas obtidas de cada animal; peso de cabeça (PCAB), correspondendo ao peso da cabeça sem a nadadeira peitoral, e peso de resíduos (PRES) que consiste no somatório dos pesos das nadadeiras, vísceras e pele.

Os rendimentos foram calculados em porcentagens para cada produto, sendo estes divididos pelo peso corporal (peixe inteiro), obtendo-se os rendimentos de carcaça (RCAR), rendimento de filé (RF), rendimento de cabeça (RCAB) e rendimento de resíduos (RRES). Neste estudo, as características de pesos e rendimentos corporais foram consideradas como variáveis dependentes, e as medidas morfométricas e suas relações como variáveis independentes (explicativas).

Os dados foram submetidos a análise de regressão linear múltipla, utilizando-se o procedimento “Stepwise” com a opção “backward”, para eliminar possíveis efeitos de multicolinearidade. O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para verificar a normalidade dos dados. As correlações fenotípicas entre as variáveis dependentes e independentes foram

189 calculadas por meio do coeficiente de correlação linear de Person e posteriormente,
190 aplicou-se o teste t de Student para verificar a significância. Estas correlações foram então
191 desdobradas em efeitos diretos e indiretos por meio de análise de trilha (Wright, 1921;
192 1923). O valor da correlação e a magnitude do efeito direto foram considerados como
193 critérios para definir quais medidas e relações morfométricas foram determinantes para a
194 variação dos pesos e rendimentos corporais. Todas as análises foram realizadas
195 utilizando-se o *software* “R” versão 3.3.2 (R DEVELOPMENT Core Team, 2016),
196 aplicando-se os pacotes agricolae (Mendiburu, 2020), nortest (Gross & Ligges, 2015),
197 MASS (Venables & Ripley, 2002) e car (Fox & Weisberg, 2011).

198

199 **3. RESULTADOS**

200

201 O peso corporal e o peso de parte do corpo foram as variáveis que apresentaram
202 maiores coeficientes de variação, sugerindo uma maior dispersão dos dados quando
203 comparado as demais características. Para as variáveis de rendimentos e medidas
204 morfométricas os valores de coeficientes de variação foram baixos, indicando maior
205 homogeneidade das informações (Tabela 1).

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222 **Tabela 1** Estatística descritiva para peso corporal, pesos e rendimentos de partes do corpo
 223 e medidas morfométricas em garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*)

Variáveis	M	DP	CV(%)	MIN	MAX
PC (g)	680	221,74	32,62	332	1193
PCARC (g)	624	206,44	33,12	300	1105
PF (g)	222	80,51	36,29	100	410
PP (g)	330	132,20	39,97	120	600
PCAB (g)	230	75,01	32,77	105	415
PRES (g)	228	69,61	30,38	112	395
RCARC (%)	91,41	2,42	2,65	84,31	97,86
RF (%)	32,46	1,96	6,09	26,68	39,56
RP (%)	45,88	4,48	9,77	35,24	52,60
RCAB (%)	33,42	1,75	5,22	29,24	38,53
RRES (%)	34,10	2,25	6,63	28,01	40,62
CP (cm)	28,19	2,90	10,28	22,0	35,0
CAB (cm)	8,47	0,81	9,56	7,0	10,5
ALT (cm)	9,19	1,21	13,24	6,5	12,3
LAR (cm)	4,58	0,41	9,00	3,6	5,6

224 PC= peso corporal; PCARC= peso carcaça; PF= peso filé; PP= peso postas; PCAB= peso cabeça; PRES=
 225 peso resíduos; RCARC= rendimento carcaça; RF= rendimento filé; RP= rendimento postas; RCAB=
 226 rendimento cabeça; RRES= rendimento resíduos; CP= comprimento padrão; CAB= comprimento da
 227 cabeça; ALT M= média; DP= desvio-padrão; CV (%)= coeficiente de variação; MIN= valor mínimo;
 228 MAX= valor máximo.

229

230 Após a realização da análise de regressão múltipla, nem todas as medidas
 231 morfométricas e relações avaliadas foram importantes para explicar a variação dos pesos
 232 e rendimentos corporais das garoupas. Assim, a decomposição em efeitos diretos e
 233 indiretos dos coeficientes de correlação fenotípica, para as características relacionadas a
 234 pesos e rendimentos corporais, estão apresentados na Tabela 2 e Tabela 3.

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247 **Tabela 2** Valores de efeitos diretos e indiretos entre pesos corporais e medidas
 248 morfométricas em garoupa-verdadeira

Variáveis	Efeito Direto	%	Efeito Indireto	%	Correlação	R ²
Peso Corporal						
CP	-0,134	11,19	1,064	88,81	0,92*	0,97
CAB	-0,029	3,68	0,759	96,32	0,72*	
ALT	1,352	76,22	-0,422	23,78	0,92*	
CAB/ALT	0,116	21,76	-0,416	78,24	-0,29*	
LAR/CP	-0,416	88,14	0,056	11,86	-0,63*	
LAR/ALT	0,537	32,86	-1,097	67,14	-0,55*	
Peso Carcaça						
CP	0,434	47,18	0,486	52,82	0,92*	0,97
CAB	0,008	1,11	0,692	98,89	0,69*	
ALT	0,364	39,56	0,556	60,44	0,92*	
LAR	0,153	21,87	0,547	78,13	0,70*	
CAB/ALT	0,052	13,52	-0,332	86,48	-0,28*	
LAR/LT	-0,108	18,95	-0,462	81,05	-0,56*	
Peso Filé						
CP	-0,489	53,75	1,399	46,25	0,91*	0,96
CAB	0,903	69,13	-0,213	30,87	0,69*	
ALT	0,197	21,69	0,713	78,31	0,90*	
LAR	0,249	36,59	0,431	63,41	0,68*	
CAB/CP	-0,604	41,04	0,224	58,96	-0,38*	
CAB/ALT	0,044	21,85	-0,244	78,15	-0,20	
LAR/ALT	-0,232	39,31	-0,358	60,69	-0,59*	
Peso Postas						
CP	0,369	49,23	0,381	50,77	0,74*	0,96
CAB	0,133	20,39	0,517	79,61	0,65*	
ALT	0,370	49,29	0,380	50,71	0,74*	
CAB/CP	0,083	31,81	-0,343	68,19	-0,26*	
LAR/CAB	0,052	87,17	-0,112	12,83	-0,06	
Peso Cabeça						
CP	0,497	53,99	0,423	46,01	0,91*	0,95
ALT	0,745	81,84	0,165	18,16	0,91*	
LAR	-0,156	21,94	0,866	78,06	0,71*	
CAB/ALT	0,051	16,32	-0,361	83,68	-0,31*	
LAR/ALT	0,171	27,65	-0,791	72,35	-0,61*	
Peso Resíduos						
ALT	1,138	78,95	-0,198	21,05	0,93*	0,94
LAR	0,055	7,36	0,695	92,64	0,75*	
CAB/CP	0,029	5,92	-0,519	94,08	-0,48*	
CAB/ALT	0,040	10,86	-0,410	89,14	-0,37*	
ALT/CP	-0,283	62,90	0,733	37,10	0,45*	
LAR/CAB	-0,048	13,14	0,410	86,86	0,13	

249 CP: comprimento padrão; CAB: comprimento cabeça; ALT: altura; LAR: largura; CAB/CP: comprimento
 250 cabeça/comprimento padrão; ALT/CP: altura/comprimento padrão; LAR/CP: largura/comprimento padrão;
 251 LAR/CAB: largura/comprimento cabeça; CAB/ALT: comprimento cabeça/altura; LAR/ALT:
 252 largura/altura; R²: coeficiente de determinação; *p < 0,05.

253 **Tabela 3** Valores de efeitos diretos e indiretos entre rendimentos corporais e medidas
 254 morfométricas em garoupa-verdadeira

Variáveis	Efeito Direto	%	Efeito Indireto	%	Correlação	R ²
Rendimento Carcaça						
CAB	0,307	42,64	0,413	57,36	0,71*	0,23
LAR	0,512	72,17	0,198	27,83	0,71*	
LAR/CAB	0,015	24,87	-0,045	75,13	-0,03	
LAR/ALT	-0,512	86,78	-0,078	13,22	-0,59*	
Rendimento Filé						
CP	1,282	78,41	-0,353	21,59	0,93*	0,50
CAB	0,104	14,65	0,606	85,35	0,70*	
ALT	-0,621	28,86	1,530	71,14	0,91*	
ALT/CP	0,537	77,38	-0,157	22,62	0,38*	
Rendimento Postas						
CP	0,532	70,97	0,218	29,03	0,74*	0,35
LAR	0,326	48,69	0,344	51,31	0,66*	
LAR/CP	0,063	15,97	-0,333	84,03	-0,27*	
LAR/CAB	-0,130	68,31	0,060	31,69	-0,06	
Rendimento Cabeça						
ALT	1,169	83,03	-0,239	16,97	0,93*	0,14
ALT/CP	-0,339	29,27	0,819	70,73	0,48*	
LAR/CP	0,006	1,74	-0,356	98,26	-0,35*	
Rendimento Resíduos						
ALT	1,180	83,10	-0,240	16,90	0,93*	0,50
CAB/CP	0,060	11,79	-0,451	88,21	-0,39*	
ALT/CP	-0,303	29,83	0,713	70,17	0,40*	
LAR/ALT	0,031	4,61	-0,641	95,39	-0,61*	

255 CP: comprimento padrão; CAB: comprimento cabeça; ALT: altura; LAR: largura; CAB/CP: comprimento
 256 cabeça/comprimento padrão; ALT/CP: altura/comprimento padrão; LAR/CP: largura/comprimento padrão;
 257 LAR/CAB: largura/comprimento cabeça; CAB/ALT: comprimento cabeça/altura; LAR/ALT:
 258 largura/altura; R²: coeficiente de determinação; *p < 0,05

259

260 Para as características relacionadas aos pesos, os coeficientes de determinação
 261 foram superiores a 0,94 e a maior parte das estimativas de correlação foram significativas
 262 e positivas. As medidas morfométricas e suas relações apresentaram, em sua maioria,
 263 baixos efeitos diretos, sendo os indiretos os de maior influência sobre as características
 264 estudadas (Tabela 2).

265 Dentre as medidas morfométricas e relações avaliadas, ALT e LAR/CP foram as
 266 que apresentaram maior efeito direto e maior contribuição para o peso corporal. A
 267 correlação foi alta e positiva para ALT e moderada e negativa para LAR/CP. Nas demais
 268 variáveis, CP, CAB, CAB/ALT, LAR/ALT, observou-se um maior efeito indireto.

269 Resultado similar foi observado para peso de filé, onde apenas uma medida (CAB)
 270 e uma relação (CAB/CP) apresentaram maiores estimativas para efeitos diretos. Contudo,

271 CAB apresentou maior correlação e maior contribuição (69,13%) na estimativa do peso
272 de filé quando comparado com a relação CAB/CP. As demais medidas e relações
273 morfométricas obtiveram maiores estimativas para efeitos indiretos. As correlações foram
274 em sua maioria positivas de magnitude moderada e alta.

275 Para peso de cabeça, apenas as medidas morfométricas ALT e CP obtiveram
276 maiores valores para efeito direto. Ambas as medidas apresentaram correlações positivas
277 e de alta magnitude (0,91), sendo estas as que mais influenciaram na determinação do
278 peso da cabeça. A medida de LAR e as relações CAB/ALT e LAR/ALT demonstraram
279 estimativas maiores para efeitos indiretos.

280 A única medida que apresentou efeito direto maior que efeito indireto para peso de
281 resíduo foi ALT. Todas as demais medidas e relações avaliadas demonstraram maiores
282 estimativas para efeito indireto. A correlação entre ALT e peso de resíduo foi alta e
283 positiva (0,93) sendo esta a medida morfométrica de maior influência (78,95%) sob a
284 característica peso de resíduo.

285 As medidas e relações morfométricas utilizadas para avaliação do peso de carcaça
286 e peso de postas apresentaram maiores estimativas para efeito indireto, sugerindo que
287 nenhuma das medidas incluídas no modelo de predição foram determinantes para
288 estimativa dessas variáveis. Contudo, para peso de postas as estimativas de efeitos diretos
289 e indiretos de CP e ALT foram muito próximas, sendo 0,369 para efeito direto e 0,381
290 para efeito indireto de CP e para ALT de 0,370 para efeito direto e 0,380 para efeito
291 indireto. As duas medidas apresentaram correlações moderadas e positivas com peso de
292 posta. Todas as correlações significativas, foram positivas para as medidas morfométricas
293 e negativas para as relações, com exceção da ALT/CP que apresentou correlação positiva
294 para peso de resíduos.

295 Para os rendimentos corporais, os coeficientes de determinação variaram de 0,14 a
296 0,50, tendo sido a maior parte das correlações significativas e positivas. A única variável
297 que não apresentou correlação significativa nas características na qual foi avaliada foi a
298 relação LAR/CAB (Tabela 3). Apenas uma medida morfométrica e uma relação
299 obtiveram maiores estimativas de efeito direto nas características de rendimento de
300 carcaça (LAR e LAR/ALT), rendimento de filé (CP e ALT/CP) e rendimento de postas
301 (CP e LAR/CAB). Para rendimento de cabeça e resíduos, apenas a medida de ALT
302 apresentou maior efeito direto, sendo todas as demais relações com estimativas mais altas
303 para efeito indireto.

304 4. DISCUSSÃO

305

306 Os coeficientes de correlação foram, em sua maioria, positivos e significativos.
307 Correlações positivas e significativas obtidas entre as medidas morfométricas e os pesos
308 e rendimentos corporais, são conhecidas na literatura e podem ser explicadas pelo fato do
309 crescimento dos peixes ocorrer em todos os sentidos do corpo, como relatado por Reis
310 Neto et al. (2012) e Ribeiro et al. (2019).

311 A utilização da morfometria demonstrou ser eficaz para estimação de pesos e
312 rendimentos corpóreos de garoupa-verdadeira, exceto para as características de peso de
313 carcaça e postas, onde as medidas e relações avaliadas foram insuficientes para explicar
314 as variações observadas. Estudos anteriores demonstraram que a utilização da
315 morfometria pode ser uma ferramenta útil na estimação do peso corporal e rendimento de
316 carcaça de diferentes espécies de peixes (Reis Neto et al., 2012; Melo et al., 2013;
317 Luxinger et al., 2018). Contudo, Botelho et al. (2019) e Ribeiro et al. (2019) observaram
318 que as medidas e relações morfométricas foram eficientes apenas para estimativas de
319 pesos, não sendo suficientes para determinar os rendimentos corporais.

320 A medida morfométrica a ser utilizada como critério de seleção para melhorar os
321 pesos e rendimentos corporais das garoupas vai depender da característica que se deseja
322 aprimorar, uma vez que cada variável obteve uma medida que apresentou maior
323 influência em sua estimação.

324 A ALT foi a medida morfométrica que apresentou maior contribuição para as
325 estimativas de peso corporal, peso de cabeça, peso de resíduos, rendimento de cabeça e
326 rendimento de resíduos, demonstrando ser uma importante medida a ser considerada na
327 seleção dessas características. A importância da altura na determinação do peso do peixe
328 também foi observada por Botelho et al. (2019) que relataram como sendo a medida de
329 maior influência na estimativa do peso corporal, peso de carcaça e peso de resíduos em
330 lambaris (*Astyanax lacustris* e *Astyanax fasciatus*). Em estudos com peixes redondos,
331 Reis Neto et al. (2012) observaram que a altura do corpo foi uma das principais medidas
332 para a determinação do peso dos peixes, contudo a mesma não deve ser considerada
333 separadamente. Esta é uma informação relevante para os produtores, visto que as
334 transações comerciais com as indústrias de pesca e consumidores se constituem em
335 função do peso corporal do animal.

336 Para a avaliação do rendimento de filé e postas, o CP foi a medida que apresentou

337 maior correlação e efeito direto, contribuindo com mais de 70% para determinação dessas
338 características, indicando ser a medida de maior relevância para estes componentes.
339 Segundo Carvalho et al. (2012) a garoupa é um peixe que apresenta uma estrutura
340 corporal comprida e alta, o que evidencia a importância dessas medidas no desempenho
341 produtivo dos animais. Estes resultados se divergem dos relatados por Reis Neto et al.
342 (2012) em estudos com peixes redondos (*Colossoma macropomum* – tambaqui e
343 *Piaractus mesopotamicus* - pacu) e Melo et al. (2013) em estudos com tilápias
344 (*Oreochromis niloticus*), onde os autores observaram que a relação morfométrica largura
345 e comprimento da cabeça foi a principal determinante do rendimento de filé.
346 Considerando que, em restaurantes, a forma mais comum de consumo de garoupas se dá
347 em pratos preparados com postas (Begossi et al., 2019), o CP é uma medida importante a
348 ser considerada na seleção de garoupas.

349 Apesar da principal forma de comercialização da garoupa ser o peixe inteiro
350 (Rimmer & Glamuzina, 2019), os resultados observados para rendimento de filé (Tabela
351 1) sugerem que o processamento desses animais poderia vir a ser um novo nicho de
352 mercado, agregando valor ao produto. Segundo Yenmak et al. (2018), o filé é considerado
353 como um corte nobre e de grande relevância econômica para a indústria de processamento
354 de pescado, tendo sido apontado como o produto de maior preferência entre os
355 consumidores de peixe. Por esse motivo, diversas espécies já tiveram seus rendimentos
356 relatados na literatura, sendo os peixes marinhos os que apresentam maiores rendimentos
357 de filé, em média 40-45% (Grigorakis, 2017). Em garoupas estes rendimentos são
358 menores, variando de 36 a 40% segundo Tucker (1999). Entretanto, Coblentz
359 (1997) relata rendimentos médios de filé de garoupa de 30,12% para *Epinephelus*
360 *guttatus*, 34,18% para *Epinephelus cruentatus* e 34,69% para *Epinephelus fulvus*. Em
361 estudos com híbridos de garoupa (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus*),
362 Gudid et al. (2020) obtiveram rendimentos de filé de 33,85 a 38,10%. Suárez et al. (2015)
363 observaram rendimentos de filé de 21 a 26,1% para garoupa-verdadeira (*Epinephelus*
364 *marginatus*). Divergências obtidas no rendimento podem ser ocasionadas devido a
365 diferentes conformações corporais, composição genética e efeitos de seleção.

366 O rendimento de carcaça foi diretamente influenciado pela LAR, demonstrando ser
367 uma medida morfométrica de grande relevância na avaliação desta característica. Esses
368 resultados se diferem dos observados para peixes redondos (*Colossoma macropomum* e
369 *Piaractus mesopotamicus*), os quais a relação morfométrica comprimento da cabeça e

370 altura do corpo foi a de maior importância (Reis Neto et al., 2012).

371 A divergência entre os resultados obtidos e os encontrados na literatura para
372 medidas e relações morfométricas relacionadas a pesos e rendimentos corporais, podem
373 ser explicadas pelas diferentes formas que o corpo assume em cada uma das espécies (Jisr
374 et al., 2018; Luxinger et al., 2018). De acordo com Reis Neto et al. (2012) as variações
375 no formato do corpo podem ocorrer não só entre as espécies, mas também entre linhagens
376 da mesma espécie.

377 Estudos anteriores demonstraram que garoupas apresentam crescimento alométrico,
378 ou seja, a taxa de crescimento não ocorre com a mesma proporção nas diferentes partes
379 do corpo (Bouchereau et al., 1999; Conдини et al., 2014; Jisr et al., 2018). Segundo Russo
380 et al. (2009) existe um padrão de integração morfológica entre a cabeça e o tronco de
381 garoupas. Os mesmos autores observaram que o aumento no tamanho da cabeça está
382 associado a troncos mais altos. Contudo, esta relação não é linear e ocorre em diferentes
383 momentos do desenvolvimento dos peixes. Estes resultados podem justificar a correlação
384 positiva entre CAB e peso de filé evidenciadas no presente estudo, uma vez que a CAB
385 influencia na ALT do tronco proporcionando aumento do peso corporal e
386 consequentemente maior peso de filé. Segundo Reis Neto et al. (2012) peixes de maior
387 peso corporal são também os que apresentam maiores cabeças, o que é desfavorável, dado
388 que a cabeça é a parte do corpo de menor valor comercial. Contudo, em garoupas a cabeça
389 é considerada uma importante iguaria culinária, sendo bastante apreciada e consumida
390 nos países asiáticos (Çakirlar et al., 2014).

391 Em geral, as medidas morfométricas da garoupa-verdadeira estiveram diretamente
392 relacionadas a maior parte dos pesos e seus rendimentos corporais, podendo sua aplicação
393 contribuir para melhor compreensão destas características. Estas variáveis podem ser
394 utilizadas como critérios de seleção indireta quando o objetivo for obter peixes com
395 melhores desempenhos produtivos. Vale ressaltar que estes são estudos fenotípicos e que
396 qualquer mudança no ambiente de cultivo dos animais pode promover alterações nas
397 estimativas dos pesos e rendimentos corporais. Estudos relativos à espécie *Epinephelus*
398 *marginatus* ainda são escassos na literatura e investigações futuras devem ser realizadas
399 para que o cultivo desses animais se torne mais eficiente e produtivo.

400

401

402

403 5. AGRADECIMENTOS

404

405 Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
406 Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, a empresa Redemar Alevinos, e
407 ao Planta Piloto de Processamento de Pescado da Universidade Federal de Lavras.

408

409 6. REFERÊNCIAS

410

411 Begossi, A., Salivonchyk, S., & Silvano, R. A. M. (2016). Collaborative Research on
412 dusky grouper (*Epinephelus marginatus*): Catches from the small-scale fishery of
413 Copacabana Beach, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Coastal Zone Management*, *19*,
414 21-23. <https://doi.org/10.4172/2473-3350.1000428>

415

416 Begossi, A., Salyvonchyk, S., Glamuzina, B., Souza, S. P., Lopes, P. F. M., Priolli, R.
417 H. G., Prado, D. O., Ramires, M., Clauzet, M., Zapelini, C., Schneider, D. T., Silva, L.
418 T. & Silvano, R. A. M. (2019). Fishers and groupers (*Epinephelus marginatus* and *E.*
419 *morio*) in the coast of Brazil: integrating information for conservation. *Journal of*
420 *Ethnobiology and Ethnomedicine*, *15*, 1-26. <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0331-2>

421

422 Begossi, A., & Lopes, P. F. M. (2020). *Garoupa e pescadores (Epinephelus*
423 *marginatus)* (130 p). RiMa Editora.

424

425 Bouchereau, J. L., Body, P., & Chauvet, C. (1999). Growth of the dusky grouper
426 *Epinephelus marginatus* (Linnaeus, 1758) (Teleostei, Serranidae), in the natural
427 marine reserve of Lavezzi Islands, Corsica, France. *Scientia Marina*, *63*, 71-77.
428 <https://doi.org/10.3989/scimar.1999.63n171>

429

430 Botelho, H. A., Lago, A. A., Costa, A. L., Costa, A. C., Reis Neto, R. V., Silva, Z.,
431 Ribeiro, F. M., Café, M. B., & Freitas, R. T. F. (2019). Application of morphometric
432 measures in estimation of body weight and discrimination of *Astyanax lacustris* and
433 *Astyanax fasciatus*. *Aquaculture Research*, *50*, 2429-2436.
434 <https://doi.org/10.1111/are.14196>

435

436 Coblentz, B. E. (1997). Subsistence Consumption of Coral Reef Fish Suggests Non-
437 Sustainable Extraction. *Conservation Biology*, *11*, 559-561.

438

439 Condini, M. V., Albuquerque, C. Q., & Garcia, A. M. (2014). Age and growth of dusky
440 grouper (*Epinephelus marginatus*) (Perciformes: Epinephelidae) in the southwestern
441 Atlantic, with a size comparison of offshore and littoral habitats. *Fishery Bulletin*, *112*,
442 311-321. <https://doi.org/10.7755/FB.112.4.7>

443

444 Cruz, C. D., Regazzi, A. J., & Carneiro, P. C. S. (2012). *Modelos biométricos aplicados*
445 *ao melhoramento genético* (541 p). Universidade Federal de Viçosa.

446

447

- 448 Çakırlar, C., Ikram, S., & Gates, M. H. (2014). New evidence for fish processing in the
449 ancient Eastern Mediterranean: formalised *Epinephelus* butchery in fifth century BC
450 Kinet Höyük, Turkey. *International Journal of Osteoarchaeology*, 26, 3-16.
451 <https://doi.org/10.1002/oa.2388>
452
- 453 Fox, J., & Weisberg, S. (2011). *An R Companion to Applied Regression*. Sage
454 publications.
455
- 456 Grigorakis, K. (2017). Fillet proximate composition, lipid quality, yields, and
457 organoleptic quality of Mediterranean-farmed marine fish: A review with emphasis on
458 new species. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57, 2956-2969.
459 <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1081145>
460
- 461 Gross, J., & Ligges, U. (2015). *nortest: Tests for Normality*. R package version 1.0-4.
462
- 463 Gudid, S. N., Lim, L. S., Kian, A. Y. S., Yanuhar, U., Mustafa, S., & Shapawi, R.
464 (2020). Growth Performance and Organoleptic Quality of Hybrid Grouper (*Epinephelus*
465 *fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) Fed Palm-Oil Based Diets at Grow-Out
466 Stage. *Sains Malaysiana*, 49, 1567-1576. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4907-09>.
467
- 468 Jisr, N., Younes, G., Sukhn, C., & El-Dakdouki, M. H. (2018). Length-weight
469 relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the
470 Eastern Mediterranean city, Tripoli-Lebanon. *Egyptian Journal of Aquatic Research*,
471 44, 299-305. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.11.004>
472
- 473 Luxinger, A. O., Cavali, J., Porto, M. O., Sales-Neto, H. M., Lago, A. A., & Freitas, R.
474 T. F. (2018). Morphometric measurements applied in the evaluation of *Arapaima gigas*
475 body components. *Aquaculture*, 489, 80-84.
476 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.044>
477
- 478 Melo, C. C. V., Reis Neto, R. V., Costa, A. C., Freitas, R. T. F., Freato, T. A., & Souza,
479 U. N. (2013). Direct and indirect effects of measures and reasons morphometric on the
480 body yield of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*,
481 35, 357-363. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i4.19807>
482
- 483 Mendiburu, F. (2020). *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R
484 package version 1.3-3.
- 485 Nithin, K. P., Manjunatha Reddy, A., Sudhakara, N. S., & Prabhu, R. M. (2013).
486 Physical and chemical properties of filleting waste from grouper and goat fish.
487 *International Journal of Science, Environment and Technology*, 2, 760-764.
488
- 489 Onyekwelu, I., Anyadike, C. C., Ossai, N. I., Nwoke, O. A., & Ndulue, E. L. (2020).
490 Interrelationship between some morphometric parameters and bodyweight of tank-based
491 cultured African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822). *Aquaculture and*
492 *Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.016>.
493
- 494 Pedrazzani, A., Carneiro, P. C. F., Kirschnik, P. G., & Molento, C. F. M. (2009).
495 Impacto negativo de secção de medula e termonarrose no bem-estar e na qualidade da
496 carne da tilápia-do-Nilo. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 10, 188-197.

- 497 R CORE TEAM. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. R
498 Foundation for Statistical Computing.
499
- 500 Reis Neto, R. V., Freitas, R. T. F., Serafini, M. A., Costa, A. C., Freato, T. A., Rosa, P.
501 V., & Allaman, I. B. (2012). Interrelationships between morphometric variables and
502 rounded fish body yields evaluated by path analysis. *Revista Brasileira de Zootecnia*,
503 41, 1576–1582. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000700004>
504
- 505 Ribeiro, F. M., Lima, M., Costa, P. A. T., Pereira, D. M., Carvalho, T. A., Souza, T. V.,
506 Botelho, H. A., Silva, F. F., & Costa, A. C. (2019). Associations between morphometric
507 variables and weight and yields carcass in Pirapitinga *Piaractus brachypomus*.
508 *Aquaculture Research*, 50, 2004-2011. <https://doi.org/10.1111/are.14099>
509
- 510 Rimmer, M. A. & Glamuzina, B. (2019). A review of grouper (Family Serranidae:
511 *Subfamily Epinephelinae*) aquaculture from a sustainability science perspective.
512 *Reviews in Aquaculture*, 11, 58-87. <https://doi.org/10.1111/raq.12226>
513
- 514 Russo, T., Pulcini, D., Bruner, E., & Cataudella, S. (2009). Shape and size variation:
515 growth and development of the dusky grouper (*Epinephelus marginatus* Lowe, 1834).
516 *Journal of morphology*, 270, 83-96. <https://doi.org/10.1002/jmor.10674>
517
- 518 Sadovy de Mitcheson, Y., Craig, M. T., Bertoni, A. A., Carpenter, K. E., Cheung, W.
519 W., Choat, J. H., Cornish, A. S., Fennessy, S. T., Ferreira, B. P., Heemstra, P. C., Liu,
520 M., Myers, R. F., Pollard, D. A., Rhodes, K. L., Rocha, L. A., Russell, B. C., Samoilys,
521 M. A., & Sanciangco, J. (2013). Fishing groupers towards extinction: a global
522 assessment of threats and extinction risks in a billion dollar fishery. *Fish and fisheries*,
523 14, 119-136. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00455.x>
524
- 525 Suárez, M. D., González, M. J., Sáez, M. I., Martínez, T. F., & Guil-Guerrero, J. L.
526 (2015). Seasonal changes of proximate composition and fatty acids of farmed dusky
527 grouper (*Epinephelus marginatus* Lowe, 1834). *International Journal of Food Science*
528 *& Technology*, 50, 1823-1830. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12838>
529
- 530 Tucker, J. W. J. (1999). Species profile: Grouper aquaculture. *SRAC Publication*, 721.
531
- 532 Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Springer.
533
- 534 Carvalho, M. O. X., Fonteles Filho, A. A., & Paiva, M. P. (2012). Idade e crescimento
535 da garoupa-verdadeira, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces: Epinephelidae),
536 no Sudeste do Brasil. *Arquivo de Ciências do Mar*, 45, 5-16.
537 <https://doi.org/10.32360/acmar.v45i2.129>
538
- 539 Wright, S. (1921). Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, 20,
540 557-585.
541
- 542 Wright, S. (1923). The theory of path coefficients a reply to Niles's Criticism. *Genetics*,
543 8, 239-285.
544

ARTIGO 3

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico Aquaculture

**PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS
AO CRESCIMENTO CORPORAL DE GAROUPA-VERDADEIRA
(*Epinephelus marginatus*) EM CULTIVO COMERCIAL**

RESUMO

34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66

A domesticação de espécies marinhas como a garoupa-verdadeira tem trazido novos desafios para a aquicultura mundial. Com a criação em cativeiro, surge a necessidade de conhecer a base genética quantitativa de características de relevância econômica, visando a seleção de animais geneticamente superiores. Pela primeira vez, estimou-se os parâmetros genéticos para características relacionadas ao crescimento corporal de garoupa-verdadeira em sistema de cultivo comercial. Foram utilizadas um total 387 progênies de garoupas, provenientes de quatro matrizes e um reprodutor. O pedigree foi construído por meio da utilização de 10 *loci* microssatélites espécie-específicos. Os componentes de (co) variância foram obtidos por meio de inferência Bayesiana através de amostragem Gibbs. As características avaliadas foram as medidas morfométricas, pesos corporais, peso de filé e peso de carcaça. De forma geral, as estimativas de herdabilidade variaram de moderadas a altas magnitudes para as medidas morfométricas (0,29 a 0,64) e pesos corporais (0,39 a 0,52). Para peso de filé e peso de carcaça as herdabilidades foram de magnitudes altas, 0,48 e 0,40 respectivamente, o que indica a existência de variabilidade genética de origem aditiva. As correlações genéticas estimadas foram, em sua maioria, significativas, positivas e de moderada a alta magnitude (0,52 a 0,94), sugerindo a existência de uma importante associação de origem genética entre as variáveis avaliadas. Diante dos resultados obtidos, o ganho genético estimado por geração pode chegar até 9,9% para peso corporal e 9% para peso de filé, dependendo da intensidade de seleção direta ou indireta aplicada. Estes resultados podem contribuir para o desenvolvimento de um programa de melhoramento genético de garoupa-verdadeira que tenha como objetivo o aumento da produtividade.

Palavras-chave: Correlação, Ganho genético, Herdabilidade, Piscicultura marinha

ABSTRACT

67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99

The domestication of marine species such as the dusky grouper has brought new challenges to world aquaculture. With captive breeding, there is a need to know the quantitative genetic basis of economic relevant characteristics, aiming to select genetically superior animals. For the first time, the genetic parameters were estimated for body growth-related traits of dusky grouper in the commercial farming system. A total of 387 grouper progenies from four broodstock and one breeder were used. Pedigree was constructed using 10 species-specific microsatellite loci. The (co) variance components were obtained through Bayesian inference through Gibbs sampling. Characteristics evaluated were morphometric measurements, body weights, fillet weight, and carcass weight. Overall, heritability estimates ranged from moderate to high magnitudes for morphometric measurements (0.29 to 0.64) and body weights (0.39 to 0.52). For fillet weight and carcass weight the heritabilities were of high magnitudes, 0.48 and 0.40, respectively, indicating the existence of genetic variability of additive origin. The estimated genetic correlations were, most, significant, positive, and moderate to high magnitude (0.52 to 0.94), suggesting an important association of genetic origin among the variables evaluated. Based on the results, the estimated genetic gain per generation can reach up to 9.9% for body weight and 9% for filet weight, depending on the selection intensity direct or indirect applied. These results can contribute to developing a genetic breeding program for dusky grouper that aims to increase productivity.

Keywords: Correlation, Genetic gain, Herdability, Marine fish farming

100 1. INTRODUÇÃO

101

102 A garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*) é considerada um peixe nobre de
103 grande importância econômica e elevado valor comercial, sendo muito apreciada pela
104 qualidade de sua carne (Begossi et al., 2019). Devido à sobrepesca que vem sofrendo ao
105 longo do tempo, o desembarque da espécie tem sido cada vez menos frequente (Shapawi
106 et al., 2018), chegando a um declínio global de 87% nos últimos 20 anos (Condini et al.,
107 2018). Por esse motivo a espécie foi inserida na lista de animais ameaçados de extinção
108 na categoria vulnerável pela União Internacional para a Conservação da Natureza (Pollard
109 et al., 2018). No Brasil foi classificada como espécie vulnerável pelo Ministério do Meio
110 Ambiente, tendo sua captura proibida durante o verão do hemisfério Sul, pela Portaria
111 MMA Interministerial nº 41, 2018 (Brasil, 2018).

112 A produção de garoupa em cativeiro tem sido apontada como uma alternativa para
113 atender a demanda do mercado consumidor, reduzindo a pressão sobre as populações
114 superexploradas (Sadovy de Mitcheson et al., 2013; Shapawi et al., 2018) e podendo
115 fornecer ao mercado um produto com rastreabilidade e certificado de origem (Sanchez et
116 al., 2006). Contudo, a maior dificuldade da atividade se encontra na produção de alevinos,
117 devido à escassez de reprodutores, maturidade sexual tardia, depressão endogâmica entre
118 outros (Shapawi et al., 2018). Por esse motivo, a produção mundial de garoupas ainda
119 depende fortemente de alevinos selvagens (Sadovy de Mitcheson et al., 2013). No
120 entanto, no Brasil, um empreendimento privado (Redemar alevinos) tornou possível a
121 produção de alevinos de garoupa-verdadeira em escala comercial (Kerber et al., 2012),
122 com isso, as perspectivas futuras para a aquicultura de *Epinephelus marginatus*
123 demonstram-se positivas (Rimmer & Glamuzina, 2019).

124 A sustentabilidade da indústria a longo prazo depende do fornecimento de larvas
125 de alta qualidade, a partir de linhagens geneticamente melhoradas (Pattarapanyawong et
126 al., 2021). Embora a importância do melhoramento genético para espécies de aquicultura
127 seja reconhecida mundialmente, até 2010 menos de 10% da produção aquícola havia sido
128 baseada em estoques melhorados, porcentagem muito inferior quando comparada a outros
129 animais e plantas. Contudo, a seleção de animais geneticamente superiores mostrou ser
130 capaz de promover ganhos genéticos de mais de 12% por geração para características
131 como peso corporal e 0,7% para filés e rendimentos de carcaça (Gjedrem & Robinson,
132 2014).

133 Apesar da garoupa-verdadeira ser uma espécie com alto potencial econômico para
134 aquicultura, a base genética quantitativa para características relacionadas ao corpo e a
135 carcaça da espécie ainda são desconhecidas, assim como a associação genética existente
136 entre elas, o que pode inibir o potencial produtivo da espécie. Desta forma, estudos que
137 avaliem os parâmetros genéticos para características de importância econômica em peixes
138 marinhos, são fundamentais para o planejamento de programa de seleção para espécies
139 com potencial aquícola (Khang et al., 2018).

140 Objetivou-se estimar os parâmetros genéticos para características relacionadas ao
141 crescimento corporal de garoupa-verdadeira em sistema de cultivo comercial. Espera-se
142 auxiliar na implementação de futuros programas de melhoramento genético de
143 *Epinephelus marginatus*.

144

145 **2. MATERIAL E MÉTODOS**

146

147 **2.1 Animais, Manejo e Dieta**

148

149 O experimento foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da
150 Universidade de Mogi das Cruzes, SP, protocolo número 005/2020, cujos critérios de
151 avaliação são estabelecidos pela Lei Federal nº 11.794. (8 de outubro de 2008).

152 Um total de 387 progênies de garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*)
153 foram utilizadas, descendentes de um macho e quatro fêmeas pertencentes a Redemar
154 Alevinos, um incubatório privado localizado em Ilhabela/SP, Sudeste do Brasil.
155 Inicialmente os peixes foram cultivados em um tanque de alvenaria abastecido com água
156 bombeada do mar. Nesta fase as garoupas foram mantidas a uma densidade de 170
157 peixes/m³ até completarem 310 dias de idade. As garoupas foram alimentadas duas vezes
158 ao dia com ração comercial extrusada específica para peixes carnívoros marinhos,
159 contendo 45% de proteína bruta a uma taxa de arraçoamento de 3% da biomassa corporal.
160 Aos 310 dias de idade os peixes foram pesados e identificados com PIT-Tags (*Passive*
161 *Integrated Transponder*) sendo distribuídos aleatoriamente em diferentes sistemas de
162 cultivo: sistema de fluxo contínuo, tanque-rede no mar e viveiro escavado.

163 No sistema de fluxo contínuo, localizado em Ilhabela/SP, as garoupas foram
164 cultivadas em um tanque circular com água bombeada do mar, a uma densidade de 50
165 peixes/m³. Os animais foram alimentados duas vezes ao dia com ração comercial

166 extrusada específica para peixes carnívoros marinhos, contendo 45% de proteína bruta,
167 com taxa de arraçoamento de 1% da biomassa corporal. A temperatura média foi de
168 23,6°C, com salinidade de 35 ppt e oxigênio de 6,1 ml/L.

169 Já no sistema tanque-rede no mar, localizado em Angra dos Reis/RJ, as garoupas
170 foram cultivadas em um tanque circular flutuante posicionado no mar próximo a costa a
171 uma densidade de 8 peixes/m³. A alimentação foi baseada no uso de *trash fish* (resíduo
172 de pesca), fornecida uma vez ao dia, até saciedade aparente dos animais. A temperatura
173 média foi de 24°C, com salinidade de 35 ppt e oxigênio de 6,3 ml/L.

174 Por fim, no sistema de viveiro escavado, localizado em Laguna/SC, os peixes
175 foram criados em viveiro escavado retangular a uma densidade de 4 peixes/m³ com água
176 bombeada de lagunas. A alimentação foi realizada com ração comercial extrusada
177 específica para peixes carnívoros marinhos, contendo 45% de proteína bruta, em duas
178 frequências alimentares, a uma taxa de arraçoamento de 1% da biomassa corporal. A
179 temperatura média foi de 21°C, com salinidade de 17 ppt e oxigênio de 7 ml/L.

180 Os peixes passaram por três pesagens ao longo do período experimental. Devido
181 à distância entre os sistemas de cultivo, as pesagens ocorreram em dias distintos, não
182 ultrapassando o intervalo de 10 dias entre as coletas. Assim, os dados de peso foram
183 ajustados para as idades de 500 e 730 dias por intermédio da equação $Y = ((P - PN) / I) \times$
184 $Y) + PN$, onde Y é o peso na idade que se deseja avaliar, P é o peso corporal mais próximo
185 da idade-padrão, PN é o peso mais próximo do nascimento (eclosão) e I é a idade do
186 animal no dia da mensuração.

187 Ao final do período experimental, as medidas de morfometria foram obtidas com
188 auxílio de ectiômetro e paquímetro, sendo elas: comprimento padrão (CP), que
189 corresponde a parte anterior da cabeça ao final do pedúnculo caudal; comprimento da
190 cabeça (CAB), correspondido entre a extremidade anterior da cabeça e a borda do
191 opérculo; altura do tronco (ALT), realizada da extremidade da nadadeira peitoral a
192 extremidade da nadadeira dorsal; largura do tronco (LAR), equivalente a distância
193 existente entre as duas nadadeiras dorsais. Posteriormente, 50 garoupas selecionadas
194 aleatoriamente de cada sistema de cultivo foram eutanasiadas, por meio de secção da
195 medula espinhal, seguido de sangria, conforme proposto por Pedrazzani et al. (2009). Os
196 peixes foram eviscerados e pesados individualmente para a obtenção do peso de carcaça.
197 Das 150 garoupas, 90 foram filetadas, separando-se o filé da espinha dorsal, sendo
198 posteriormente retirada a pele para obtenção do peso do filé.

199 2.2 Análise de Parentesco Genético

200

201 Para montagem da matriz de parentesco, os animais tiveram um fragmento de
202 nadadeira caudal de aproximadamente 1 cm coletado, e armazenado separadamente em
203 microtubos identificados com etanol 95%. Posteriormente, foi realizada a extração de
204 DNA dos pais e das progênes via metodologia baseada em precipitação salina, conforme
205 descrito por Aljanabi & Martinez (1997). A verificação da integridade do material
206 extraído foi analisada por meio de eletroforese horizontal em gel de agarose a 2% e
207 visualizado no fotodocumentador ImageQuant 300 (GE Healthcare Life Sciences®). O
208 DNA extraído foi armazenado em freezer (-20°C) até o seu processamento. A pureza
209 (260nm/280nm) e a concentração (em ng/μL) do DNA total foram determinadas por
210 densidade óptica em espectrofotômetro (NanoVue Plus™ da GE Healthcare®).

211 Utilizaram-se 10 *loci* microssatélites espécie-específicos para *Epinephelus*
212 *marginatus* desenvolvidos por Vaini et al. (2019) (Tabela 1). Os *primers forwards* foram
213 sintetizados adicionando-se cauda M13 de sequência 5'-TGTA AACGACGGCCAGT-
214 3' na extremidade 5' (Schuelke, 2000). A Reação em Cadeia pela Polimerase (PCR)
215 consistiu em um volume final de 20μl (~100ng de DNA, 1X *buffer*, 0,25mM dNTPs,
216 1,5–3,0mM MgCl₂, 0,5 U Taq DNA Polimerase, 0,2μM do *primer* universal M13
217 marcado com fluorescência IRDye700, 10μM do *primer forward* e 10μM do *primer*
218 *reverse*) em um termociclador Veriti™ (Applied Biosystems). A amplificação da reação
219 ocorreu da seguinte forma: 94°C por 5 minutos para desnaturação inicial, seguidos por
220 35 ciclos de 94°C por 40 segundos, temperatura de anelamento (Tabela 1) por 1 minuto,
221 72°C por 40 segundos, finalizando com a extensão final à 72°C por 10 minutos.

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232 **Tabela 1**
 233 Descrição dos 10 *loci* microssatélites específicos para *Epinephelus marginatus*.

<i>Locus</i>	<i>GenBank</i>	Sequência do <i>primer</i> (5' – 3')	Repetição	Ta (°C)
Ema01	KU762341	F: ACAGCAAACCATGTGAGCAG R: TGGAGTGATAGTCCTCTGTTGG	(AC) ₁₄	60
Ema02	KU762342	F: CAGACGTATGCACTGGACCT R: ATATGTCAGCCTCCACCTC	(TG) ₇	62
Ema04	KU762344	F: CTGATGGAATCCACAAATTTAATC R: TCTGACTGACAGATAACAAGAGAA	(GATG) ₉	52
Ema06	KU762346	F: TTGTACGTTTGCTAATGCTGTG R: CTGAACTGTACTCATGAACCTGC	(CAA) ₅	55
Ema18	KU762351	F: GGACAAGTGGACATTTTGGC R: AACCAGGAGCTTATGTGGCT	(CTAT) ₁₆	60
Ema22	KU762353	F: GTTTGCAGTGTTGCAGTGCT R: TAGGGTGGGATTTTCAGATGC	(TATG) ₇	58
Ema26	KU762355	F: CAGGTGGAGTGATTTTCAGCA R: TTCACCCATGGGAAGTATGA	(TTC) ₈	52
Ema35	MG640563	F: ACTCCACTCTGCCTCTCAG R: ACGTGCAAATTTCTTGGACA	(AC) ₁₄	56
Ema42	MG640565	F: AATATGACTGATAATTTGACCACCA R: CACCCCTAGACCAGCACAAT	(CTG) ₇	54
Ema48	MG640568	F: TCCAAGTTACCACCTAGCCTTC R: ATGGATAGATGATAGATGGATGC	(ATCC) ₅	50

234 *Primer* 5' com cauda M13 (5'TGTAAAACGACGGCCAGT 3') (Schuelke, 2000).

235 Ta: Temperatura de anelamento. Fonte: Vaini et al. (2019).

236

237 As reações de amplificação foram visualizadas em gel desnaturante de
 238 poliacrilamida 6,0% no genotipador DNA Analyzer 4300 (LI-COR Biosciences, Lincoln,
 239 NE, USA). O tamanho (pb) dos alelos foi determinado por meio do *software* SagaGT
 240 Client (Li-Cor Biosciences, Lincoln, NE, USA) utilizando marcador de peso molecular
 241 de 50-350pb (LI-COR Biosciences) como referência para identificar os alelos. A fim de
 242 evitar erros de genotipagem, a mesma foi realizada por dois observadores em momentos
 243 distintos.

244 Após a obtenção dos genótipos, realizou-se a análise de paternidade/maternidade
 245 por intermédio do *software* Cervus v.3.0.7 (Kalinowski et al., 2007). As simulações foram
 246 realizadas com 387 progênies, um reprodutor confirmado e quatro matrizes. Os
 247 parâmetros estabelecidos para o cálculo da simulação foram com nível de confiança
 248 estrito de 95% e relaxado de 80%, além de 10% para erro.

249

250

251

252

253 2.3 Avaliação Genética

254

255 As análises genéticas foram realizadas utilizando o modelo animal, avaliando
 256 sistema de cultivo como efeito fixo e o efeito genético aditivo direto do animal como
 257 efeito aleatório para as medidas morfométricas, peso aos 500 e 730 dias de idade, peso de
 258 filé e peso de carcaça. Para peso aos 310 dias de idade, o modelo foi composto apenas
 259 pelo efeito genético aditivo direto do animal.

260 Os componentes de (co) variância foram estimados pelo procedimento Bayesiano,
 261 adotando o método de Cadeia de Monte Carlo Markov (MCMC) e Gibbs Sampling, que
 262 foram implementadas no sistema computacional MTGSAM - Multiple Trait Gibbs
 263 Sampling to Animal Model (Van Tassell & Van Vleck, 1996). O modelo geral utilizado
 264 foi:

$$265 \mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Za} + \mathbf{e},$$

266 onde \mathbf{y} é o vetor de variáveis dependentes; \mathbf{X} é a incidência de efeitos fixos da
 267 matriz, associando elementos de \mathbf{b} para \mathbf{y} , \mathbf{b} são os efeitos fixos do vetor; \mathbf{Z} é a matriz de
 268 incidência de efeitos aleatórios, associando elementos de \mathbf{a} para \mathbf{y} , \mathbf{a} é o vetor de efeito
 269 aleatório (genético aditivo direto), e \mathbf{e} são os efeitos residuais. O modelo adotado seguiu
 270 as seguintes distribuições: $\mathbf{Y}|\mathbf{b},\mathbf{a},\mathbf{e} \sim N(\mathbf{Xb}+\mathbf{Za}, \mathbf{I}\sigma_e^2)$; $\mathbf{b} \sim N(0, \Sigma_b)$; $\mathbf{a}|\sigma_a^2 \sim N(0, \mathbf{A}\sigma_a^2)$,
 271 $\mathbf{e}|\sigma_e^2 \sim N(0, \mathbf{I}\sigma_e^2)$, em que Σ_b é uma matriz diagonal com altas variâncias para representar
 272 a priori não informativa, σ_a^2 e σ_e^2 são os componentes de variância genética aditiva direta
 273 e variância residual; \mathbf{A} é a matriz de numeradores do coeficiente de parentesco e \mathbf{I} é a
 274 matriz identidade de ordem igual ao número de animais com observações.

275 Para as análises genéticas foi utilizado um comprimento de cadeia de 1.000.000
 276 ciclos e um período de *burn-in* de 2.000 ciclos, no intuito de minimizar os efeitos dos
 277 valores iniciais. Para assegurar a independência das amostras e evitar a autocorrelação,
 278 considerou-se um intervalo de amostragem de 100 ciclos, totalizando 9.980 amostras das
 279 distribuições marginais à posteriori. A convergência da cadeia gerada pelo Amostrador de
 280 Gibbs foi testada por intermédio dos critérios de convergência de Geweke (Geweke,
 281 1991) e Heidelberger & Welch (1981), utilizando o pacote Bayesiano Output Analysis -
 282 BOA (Smith, 2007) do *software* R versão 3.3.2 (R Development Core Team, 2016).

283

284

285

286 2.4 Simulação de Resposta a Seleção

287

288 Com base nos parâmetros genéticos estimados no presente trabalho, um estudo de
289 simulação de ganho genético para peso aos 730 dias, peso de filé e peso de carcaça foi
290 realizado, utilizando-se o valor mínimo e médio de herdabilidade observados no intervalo
291 de credibilidade de cada variável estudada. O intuito desta simulação foi avaliar o pior e
292 melhor cenário caso estes animais fossem selecionados como pais da próxima geração.
293 Para esta simulação, previu-se um ganho genético anual considerando frações de seleção
294 de 20%, 10%, 5%, 2%, 1%, 0,5%, 0,1% e 0,01%. O intervalo de geração adotado foi de
295 3 anos, idade média reprodutiva observada em animais de cativeiro (Begossi & Lopes,
296 2020). O modelo utilizado foi:

$$297 \Delta G = \frac{h^2 \cdot i \cdot \sigma_p}{L}$$

298 Onde ΔG corresponde ao ganho genético estimado para a característica avaliada; h^2 é a
299 herdabilidade; i é a intensidade de seleção aplicada; σ_p é o desvio padrão fenotípico e L
300 é o intervalo de gerações.

301

302 3. RESULTADOS

303

304 3.1 Atribuição dos Pais

305

306 Os dez *loci* microssatélites utilizados foram adequados para atribuição da filiação.
307 O número de alelos por *locus* variou de 2 a 7 tanto para os reprodutores quanto para as
308 progênes. Para os reprodutores a He (heterozigosidade esperada) variou de 0,36 a 0,91 e
309 o PIC (conteúdo de informação polimórfica) de 0,27 a 0,80. Para as progênes a He variou
310 de 0,04 a 0,74 e o PIC de 0,04 a 0,70 (Tabela 2). Todas as 387 grupos genotipadas
311 tiveram seu parentesco atribuído às quatro matrizes e o reprodutor avaliados, com uma
312 probabilidade de 80% a 95% de confiabilidade. O número de progênes por matriz variou
313 de 55 a 130 peixes, tendo as matrizes representantes distribuídas em todos os sistemas de
314 cultivo utilizados.

315

316

317

318 **Tabela 2**
 319 Caracterização genética dos 10 *loci* microssatélites específicos para *Epinephelus*
 320 *marginatus*.

Reprodutores						
<i>Locus</i>	A	Tamanho (pb)	Ho	He	EHW	PIC
Ema01	04	168-180	0,40	0,71	0,14	0,58
Ema02	03	159-165	0,00	0,62	0,0168*	0,50
Ema04	06	185-225	1,00	0,89	0,54	0,77
Ema06	02	208-211	0,00	0,36	0,11	0,27
Ema18	07	172-204	1,00	0,91	0,60	0,80
Ema22	05	109-129	0,40	0,76	0,0462*	0,64
Ema26	03	133-142	0,20	0,51	0,11	0,41
Ema35	05	188-208	1,00	0,87	0,49	0,74
Ema42	03	151-163	0,40	0,38	0,89	0,31
Ema48	03	115-123	0,40	0,38	0,89	0,31
Média	4,10		0,48	0,64		0,53
Progênies						
<i>Locus</i>	A	Tamanho (pb)	Ho	He	EHW	PIC
Ema01	04	168-180	0,49	0,44	0,0059*	0,37
Ema02	03	159-165	0,04	0,04	0,83	0,04
Ema04	06	185-225	0,80	0,67	0,0000*	0,61
Ema06	02	208-211	0,19	0,30	0,0000*	0,25
Ema18	07	172-204	0,85	0,74	0,0000*	0,70
Ema22	05	109-129	0,75	0,62	0,0000*	0,56
Ema26	03	133-142	0,37	0,30	0,0000*	0,26
Ema35	05	188-208	0,69	0,69	0,42	0,64
Ema42	03	151-163	0,46	0,37	0,0000*	0,33
Ema48	03	115-123	0,19	0,18	0,0256*	0,17
Média	4,10		0,48	0,44		0,39

321 A: número de alelos; Pb: tamanho do alelo em pares de base; Ho: heterozigidade observada;
 322 He: heterozigidade esperada; PIC: conteúdo de informação polimórfica; EHW: valores de P
 323 para equilíbrio de Hardy-Weinberg. *p<0,05 desvio significativo do equilíbrio de Hardy-
 324 Weinberg.

325

326 **3.2 Estatística Descritiva**

327

328 Houve alta variabilidade para as características de pesos corporais, peso de filé e
 329 peso de carcaça nas garoupas avaliadas. Para as medidas morfométricas, a variabilidade
 330 foi de menor intensidade (Tabela 3). O coeficiente de variação para os pesos corporais
 331 avaliados se intensificou com o aumento da idade dos animais, provavelmente devido à
 332 maior permanência no ambiente de cultivo, fazendo com que este influenciasse sobre a
 333 expressão fenotípica dos indivíduos.

334

335

336 **Tabela 3**337 Estatísticas descritivas para pesos corporais, peso de filé e peso de carcaça em garoupa-
338 verdadeira (*Epinephelus marginatus*).

Variável	N	M	DP	CV(%)	MIN	MÁX
CP (cm)	380	27,93	2,98	10,67	20,1	39,4
CAB (cm)	380	8,26	0,94	11,47	6,0	12,0
ALT (cm)	380	9,11	1,16	12,81	6,5	12,3
LAR (cm)	380	4,46	0,48	10,79	3,1	6,0
P310 (g)	386	139,53	36,46	26,14	57	264
P500 (g)	387	431,92	132,45	30,67	138	872
P730 (g)	381	663,96	217,66	32,78	294	1506
PFILE (g)	90	225,25	83,38	37,02	100	425
PCARC (g)	142	637,74	215,38	33,77	285	1105

339 CP= comprimento padrão; CAB= comprimento da cabeça; ALT= altura do tronco; LAR=
340 largura do tronco; P310= peso corporal aos 310 dias de idade; P500= peso corporal aos
341 500 dias de idade; P730= peso corporal aos 730 dias de idade; PFILE= peso de filé;
342 PCARC= peso de carcaça; N= número de observações; M= média; DP= desvio-padrão;
343 CV(%)= coeficiente de variação; MIN= valor mínimo; MAX= valor máximo.

344

345 **3.3 Estimação de Parâmetros Genéticos**

346

347 As estimativas de herdabilidade direta e os componentes de variância obtidos para
348 medidas morfométricas, pesos corporais, peso do filé e peso de carcaça em garoupa-
349 verdadeira estão apresentados na Tabela 4.

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364 **Tabela 4**

365 Estimativas de variância genética (σ^2_a), variância residual (σ^2_r), variância fenotípica (σ^2_f)
 366 e herdabilidade (h^2) para medidas morfométricas, pesos corporais, peso de filé e peso de
 367 carcaça em garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*).

Variável	σ^2_a	σ^2_r	σ^2_f	h^2
CP	3,33 (1,26 - 5,49)	1,68 (0,52 - 2,85)	5,01 (3,83 - 6,17)	0,64 (0,33 - 0,91)
CAB	0,34 (0,03 - 0,81)	0,46 (0,18 - 0,66)	0,80 (0,62 - 1,04)	0,41 (0,10 - 0,80)
ALT	0,23 (0,06 - 0,50)	0,39 (0,23 - 0,53)	0,62 (0,50 - 0,77)	0,36 (0,11 - 0,67)
LAR	0,05 (0,01 - 0,11)	0,10 (0,06 - 0,14)	0,15 (0,12 - 0,19)	0,29 (0,07 - 0,63)
P310	609 (199 - 1.155)	520 (206 - 766)	1.129 (891 - 1.433)	0,52 (0,23 - 0,84)
P500	5.172 (1.244 - 10.768)	6.240 (2.816 - 8.918)	11.412 (8.996 - 14.366)	0,44 (0,13 - 0,77)
P730	8.990 (2.403 - 18.540)	13.256 (7.601 - 18.258)	22.246 (17.674 - 27.268)	0,39 (0,13 - 0,70)
PFILE	694 (228 - 1.244)	702 (355 - 1.083)	1.396 (969 - 1.854)	0,48 (0,22 - 0,75)
PCARC	4.218 (1.214 - 8.136)	5.895 (3.297 - 8.437)	10.113 (7.571 - 12.984)	0,40 (0,15 - 0,69)

368 CP= comprimento padrão; CAB= comprimento da cabeça; ALT= altura do tronco; LAR=
 369 largura do tronco; P310= peso corporal aos 310 dias de idade; P500= peso corporal aos
 370 500 dias de idade; P730= peso corporal aos 730 dias de idade; PFILE= peso de filé,
 371 PCARC= peso de carcaça.

372

373 De forma geral, as estimativas de herdabilidade para as variáveis avaliadas foram
 374 de moderadas a altas magnitudes. Para características morfométricas, as maiores
 375 herdabilidades foram obtidas para CP e CAB (0,64 e 0,41) e as menores estimativas para
 376 ALT e LAR (0,36 e 0,29). Para os pesos corporais, observou-se que as estimativas de
 377 herdabilidade diminuíram com o aumento da idade dos animais. Os maiores valores
 378 foram obtidos para peso aos 310 dias (0,52) e peso aos 500 dias (0,44) e a menor
 379 estimativa para peso aos 730 dias (0,39). Herdabilidades de alta magnitude foram
 380 observadas para peso de filé e peso de carcaça (0,48 e 0,40).

381 Para todas as variáveis avaliadas, observou-se amplos intervalos de credibilidade,
 382 com estimativas variando de baixas a altas magnitudes. Contudo, nenhuma das
 383 estimativas de herdabilidade foram nulas, sugerindo a existência de variabilidade genética
 384 de origem aditiva, mesmo que em menor grau.

385 As correlações genéticas e fenotípicas entre as medidas morfométricas, pesos
386 corporais, peso de filé e peso de carcaça foram todas positivas, variando de moderada a alta
387 magnitude (Tabela 5). Para as medidas morfométricas, observou-se uma associação
388 genética de magnitude moderada (0,58 a 0,70) entre as variáveis. Correlações moderadas
389 também foram observadas entre os pesos corporais, exceto para peso aos 500 e peso aos
390 730 dias, entre os quais a correlação foi alta (0,85). Para algumas variáveis avaliadas,
391 estes intervalos variaram do negativo ao positivo, sugerindo a não significância das
392 análises, as quais, portanto, foram consideradas como correlações nulas.
393

394 **Tabela 5**

395 Estimativas da média e intervalo de credibilidade (95%) para correlação genética (acima da diagonal) e correlação fenotípica (abaixo da diagonal)
 396 de pesos em groupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*).

Variável	CP	CAB	ALT	LAR	P310	P500	P730	PFILE	PCARC
CP		0,70 (0,29 - 0,97)	0,68 (0,21 - 0,98)	0,58 (0,23 - 0,86)	0,57 (0,39 - 0,80)	0,84 (0,77 - 0,91)	0,74 (0,43 - 0,94)	0,90 (0,79 - 0,97)	0,88 (0,72 - 0,97)
CAB	0,69 (0,60 - 0,78)		0,68 (0,21 - 0,98)	0,58 (-0,12 - 0,98)	0,80 (0,58 - 0,96)	0,79 (0,45 - 0,97)	0,79 (0,44 - 0,97)	0,75 (0,35 - 0,97)	0,78 (0,40 - 0,98)
ALT	0,65 (0,54 - 0,75)	0,65 (0,54 - 0,75)		0,69 (0,23 - 0,97)	0,86 (0,69 - 0,97)	0,52 (0,01 - 0,90)	0,78 (0,48 - 0,98)	0,73 (0,33 - 0,97)	0,07 (-0,11 - 0,25)
LAR	0,51 (0,39 - 0,62)	0,46 (0,32 - 0,60)	0,62 (0,53 - 0,72)		0,85 (0,65 - 0,97)	0,65 (0,09 - 0,97)	0,58 (-0,01 - 0,97)	0,48 (-0,11 - 0,93)	0,46 (-0,26 - 0,96)
P310	0,51 (0,38 - 0,63)	0,57 (0,43 - 0,68)	0,59 (0,46 - 0,69)	0,49 (0,34 - 0,62)		0,68 (0,27 - 0,95)	0,64 (0,22 - 0,93)	0,38 (-0,19 - 0,91)	0,77 (0,45 - 0,97)
P500	0,78 (0,73 - 0,82)	0,39 (0,08 - 0,76)	0,50 (0,38 - 0,63)	0,53 (0,41 - 0,66)	0,50 (0,38 - 0,64)		0,85 (0,63 - 0,98)	0,80 (0,46 - 0,97)	0,80 (0,46 - 0,98)
P730	0,81 (0,74 - 0,86)	0,67 (0,58 - 0,76)	0,84 (0,80 - 0,89)	0,63 (0,52 - 0,72)	0,44 (0,30 - 0,56)	0,81 (0,75 - 0,87)		0,89 (0,75 - 0,98)	0,94 (0,87 - 0,99)
PFILE	0,85 (0,78 - 0,91)	0,62 (0,45 - 0,78)	0,72 (0,59 - 0,83)	0,46 (0,26 - 0,65)	0,22 (-0,14 - 0,55)	0,67 (0,52 - 0,81)	0,93 (0,91 - 0,96)		0,65 (0,15 - 0,97)
PCARC	0,84 (0,78 - 0,90)	0,73 (0,62 - 0,83)	0,10 (-0,03 - 0,20)	0,53 (0,38 - 0,67)	0,45 (0,22 - 0,67)	0,73 (0,61 - 0,83)	0,97 (0,96 - 0,98)	0,88 (0,83 - 0,93)	

397 CP= comprimento padrão; CAB= comprimento da cabeça; ALT= altura do tronco; LAR= largura do tronco; P310= peso corporal aos 310 dias de
 398 idade; P500= peso corporal aos 500 dias de idade; P730= peso corporal aos 730 dias de idade; PFILE= peso de filé; PCARC= peso de carcaça.

399

400

401 Avaliando o grau de associação genética entre as medidas morfométricas e os
402 pesos corporais, observou-se que o CP obteve maiores estimativas de correlação com
403 peso aos 500 e 730 dias (0,84 e 0,74). Já as medidas de ALT e LAR estiveram mais
404 associadas com o peso aos 310 dias (0,86 e 0,85). As correlações genéticas obtidas para
405 CAB e pesos corporais foram similares (0,79-0,80), indicando uma alta associação
406 genética entre estas características. Dentre as medidas morfométricas avaliadas, o CP foi
407 o que apresentou maior correlação genética com peso de filé (0,90) e peso de carcaça
408 (0,80).

409 As correlações genéticas obtidas entre pesos corporais e peso de filé e carcaça
410 foram de alta magnitude (0,77 a 0,94). Estes resultados sugerem um alto grau de
411 associação entre estas variáveis, indicando que os pesos corporais avaliados podem ser
412 utilizados como critérios de seleção quando o objetivo for melhorar o peso de filé e peso
413 de carcaça. A correlação genética obtida entre peso de filé e peso de carcaça foi de
414 moderada magnitude (0,65). Na maioria dos casos, os intervalos de credibilidade para as
415 estimativas das correlações genéticas e fenotípicas foram de ampla magnitude.

416

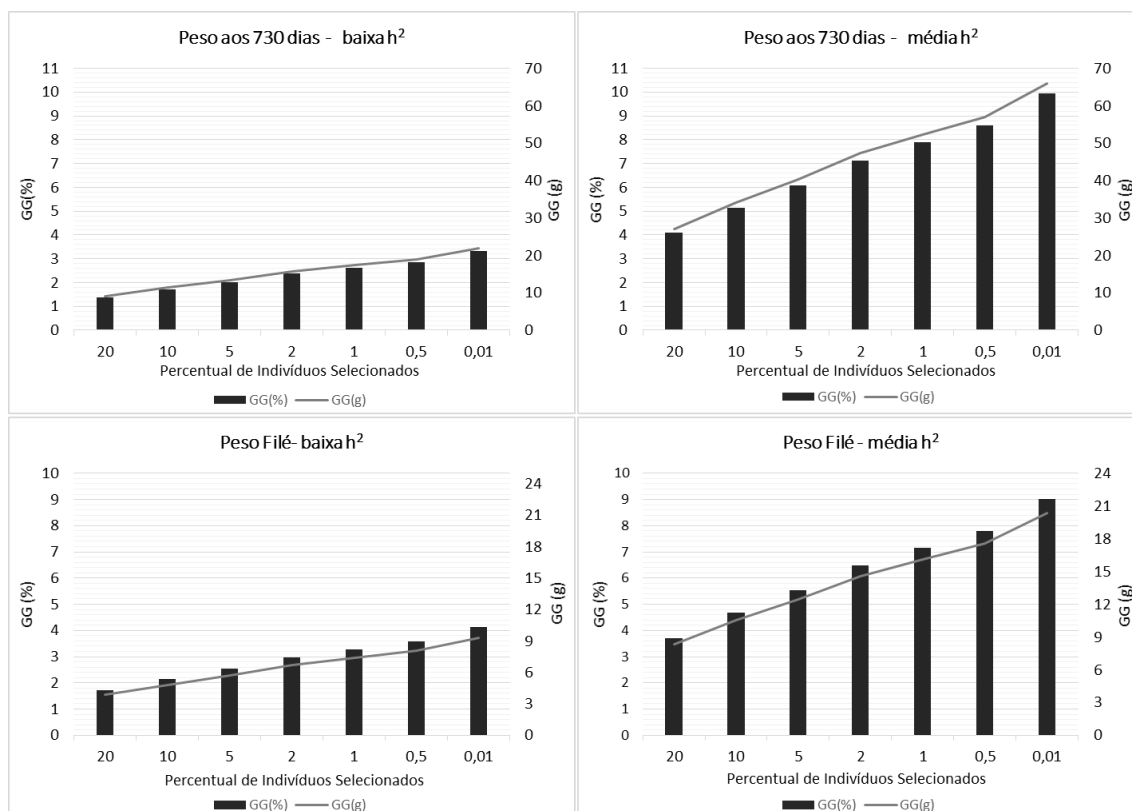
417 **3.4 Progresso Genético Esperado**

418

419 As estimativas de ganhos genéticos para peso aos 730 dias e peso de filé variaram
420 de acordo com as herdabilidades obtidas para estas variáveis, bem como, a intensidade de
421 seleção aplicada (Fig. 1). Considerando um cenário mais conservador, ou seja, com
422 utilização de herdabilidades mais baixas obtidas no intervalo de credibilidade (0,13 para
423 peso aos 730 dias e 0,22 para peso de filé), o ganho genético para estas características
424 variou de 1,3 a 4,1%, dependendo da intensidade de seleção a ser aplicada. Admitindo-se
425 um contexto mais otimista, ou seja, empregando-se herdabilidades médias obtidas no
426 presente trabalho (0,39 para peso aos 730 dias e 0,48 para peso de filé), observou-se
427 ganhos genéticos ainda mais promissores, variando de 3,7 a 9,9%, para as diferentes
428 intensidades de seleção. Diante do grande número de indivíduos que podem ser
429 produzidos em uma única desova de garoupa, a fração de seleção de 0,01% é possível de
430 ser aplicada, podendo proporcionar ganhos genéticos de 9,9% para peso aos 730 dias e
431 9% para peso de filé, quando utilizadas as estimativas de herdabilidades médias. Estas
432 porcentagens correspondem a um ganho de peso anual esperado de 65,9 g e 20,3 g
433 respectivamente. Considerando um intervalo de geração de três anos, os ganhos são ainda

434 mais impressionantes, 198 g para peso aos 730 dias de cultivo e 61 g para peso de filé,
 435 considerando-se uma única geração de seleção.

436



437

438 **Fig. 1.** Estimativa de ganho genético (GG) por ano em porcentagem e gramas, estimado
 439 para peso aos 730 dias e peso de filé sob diferentes frações de seleção.

440

441 4. DISCUSSÃO

442

443 A estimação dos parâmetros genéticos só é possível quando o parentesco dos
 444 descendentes é conhecido, ou seja, quando os animais possuem uma correta atribuição de
 445 filiação. Entretanto, para muitas espécies marinhas a marcação física para determinar
 446 descendência dos indivíduos na fase inicial é impraticável. Isso porque além de possuírem
 447 desova em massa, muitas espécies têm suas proles com tamanhos reduzidos durante a
 448 eclosão (2-4 mm), como em *Epinephelus marginatus* (Cunha et al., 2013), *Seriola lalandi*
 449 (Whatmore et al., 2013) e *Thunnus thynnus* (Yúfera et al., 2014). Nestes casos, a
 450 utilização de microssatélites tem sido uma ferramenta frequentemente aplicada em
 451 estudos de avaliação genética, demonstrando ser um método eficaz para atribuição de
 452 parentesco. No presente estudo, a utilização dos microssatélites proporcionou uma taxa

453 de atribuição dos pais semelhante as relatadas por Whatmore et al. (2013); Knibb et al.
454 (2016); Ye et al. (2017); Pattarapanyawong et al. (2021).

455 Características relacionadas ao crescimento corporal são um dos principais focos
456 de interesse em programas de melhoramento aquícola, e têm como objetivo o aumento da
457 produtividade dos animais (Gjedrem, 2012). Por esse motivo, os parâmetros genéticos
458 para variáveis de desempenho produtivo vêm sendo estudados para diferentes espécies de
459 peixes, visando identificar e determinar quais características podem ser utilizadas como
460 critérios de seleção. No presente estudo, relatou-se pela primeira vez estimativas de
461 herdabilidades e correlações genéticas para características relacionadas ao crescimento
462 de garoupa-verdadeira obtidas ao longo do desenvolvimento dos animais. As estimativas
463 de herdabilidade para as medidas morfométricas, pesos corporais, peso de filé e peso de
464 carcaça (Tabela 4) foram de moderadas a altas magnitudes, segundo a classificação
465 proposta por Bourdon (2000). Estes resultados sugerem que as características avaliadas
466 podem ser utilizadas como critério de seleção em programas de melhoramento genético
467 de garoupa-verdadeira, uma vez que houve variabilidade genética para todas as variáveis
468 avaliadas (Gianola & Rosa, 2015).

469 Estimativas de herdabilidade também foram descritas para outras espécies
470 marinhas durante diferentes períodos de crescimento, indicando a existência de
471 variabilidade genética aditiva em maior ou menor grau. Avaliando uma população de
472 arabaiana (*Seriola lalandi*), Whatmore et al. (2013) relataram herdabilidades de 0,17 e
473 0,26 para peso corporal, 0,15 para comprimento do corpo e 0,24 e 0,31 para peso de filé
474 em animais de 427 dias de idade. Em estudos com perca-gigante ou barramundi (*Lates
475 calcarifer*) após 15 meses de cultivo, Domingos et al. (2021) obtiveram estimativas de
476 herdabilidades de 0,46 para peso corporal, 0,41 para comprimento do corpo e 0,49 para
477 profundidade do corpo. Avaliando a mesma espécie (*Lates calcarifer*), Pattarapanyawong
478 et al. (2021) estimaram as herdabilidade para 120, 270 e 390 dias após a eclosão dos
479 peixes e chegaram a resultados variando de 0,26 a 0,48 para peso corporal, 0,26 a 0,40
480 para comprimento do corpo e 0,52 para peso de filé. Em estudos com pargo australiano
481 ou dourada (*Chrysophrys auratus*), Ashton et al. (2019) encontraram herdabilidades de
482 0,30 e 0,25 para peso corporal e altura no primeiro ano de cultivo e 0,11 e 0,20 no terceiro
483 ano. Kristjánsson & Arnason (2016) estimaram herdabilidade de 0,31 para peso corporal
484 e 0,34 para peso de carcaça em bacalhau do atlântico (*Gadus morhua*) após 18 meses de
485 cultivo. Em salmão (*Salmo salar*), Garber et al. (2019) observaram estimativas de

486 herdabilidades altas (0,47 e 0,48) para peso corporal, peso de carcaça e peso de filé, e
487 moderada para comprimento da cabeça (0,39).

488 Na garoupa-verdadeira, observou-se que o aumento da idade resultou na redução
489 da variabilidade genética de origem aditiva (herdabilidade) para características de peso
490 corporal, sugerindo maior efeito do ambiente sobre os fenótipos ao longo do tempo. Estes
491 resultados são de grande importância para programas de melhoramento de garoupa, uma
492 vez que os animais candidatos à reprodução poderiam ser selecionados aos 310 dias de
493 idade. A seleção de animais mais jovens poderia trazer benefícios como redução dos
494 custos de manutenção em núcleos de reprodução, maior precisão na seleção dos melhores
495 genótipos e genética superior para crescimento mais rápido. Embora os resultados do
496 presente trabalho tenham indicado estimativas de herdabilidade levemente superiores as
497 observadas na literatura, o grau de magnitude se mostrou dentro dos limites esperados
498 para características relacionadas ao crescimento corporal. Segundo Gjedrem et al. (2014)
499 e Ashton et al. (2019) características de crescimento avaliadas em programas de
500 melhoramento aquícola apresentam herdabilidades moderadas. Divergências entre
501 estimativas podem ocorrer por vários fatores, dentre eles o tamanho amostral, número de
502 gerações, condições de criação, espécies e formas do corpo (Kang et al., 2018).

503 O estudo das correlações genéticas apontou um grau de associação de moderada
504 a alta magnitude entre as variáveis avaliadas (Tabela 5), o que sugere que estas
505 características estão sob o controle de um mesmo conjunto de genes. Desta forma, a
506 seleção para uma das variáveis ocasionaria mudanças nas demais. Visto que todas as
507 correlações foram positivas, a seleção para o aumento de uma variável promoveria
508 incremento das demais, em maior ou menor intensidade, dependendo do grau de
509 correlação genética observada entre elas.

510 Correlações genéticas entre peso corporal, peso de filé e comprimento do peixe
511 também foram avaliados por Pattarapanyawong et al. (2021) em perca-gigante ou
512 barramundi (*Lates calcarifer*), onde os autores relataram associações genéticas altas entre
513 as características, acima de 0,86. Domingos et al. (2013) observaram correlações
514 genéticas em *Lates calcarifer* acima de 0,97 entre peso corporal, comprimento e
515 profundidade do peixe. Estudando as correlações genéticas entre peso corporal e
516 comprimento da espécie *Lates calcarifer* em diferentes idades de avaliação, Ye et al.
517 (2017) encontraram correlações superiores a 0,87. Kristjánsson & Arnason (2016)
518 observaram alto grau de associação genética (0,99) entre peso corporal e peso de carcaça

519 em bacalhau-do-atlântico (*Gadus morhua*). Em pargo australiano ou dourada
520 (*Chrysophrys auratus*), correlações genéticas entre peso e altura do peixe apresentaram
521 magnitude moderada (0,51) segundo Ashton et al. (2019). Altas correlações (0,86 a 1,00)
522 foram observadas entre peso corporal, peso de carcaça, peso de filé e comprimento da
523 cabeça em salmão (*Salmo salar*) (Garber et al., 2019). Nossos resultados vão ao encontro
524 aos relatados na literatura, indicando que medidas morfométricas, pesos corporais e peso
525 de partes do corpo apresentam alto grau de associação genética.

526 Em programas de melhoramento aquícola, o peso corporal tem sido uma das
527 principais características de seleção dado sua alta herdabilidade, facilidade de
528 mensuração e associação genética com demais características corporais (Whatmore et al.,
529 2013). Diante dos resultados obtidos, o peso corporal da garoupa-verdadeira poderia
530 servir como um preditor para as demais variáveis. A utilização do peso corporal como
531 critério de seleção poderia promover um incremento simultâneo nas demais variáveis
532 avaliadas, principalmente no peso de filé e peso de carcaça, consideradas características
533 de grande importância econômica.

534 A ampla magnitude associada aos intervalos de credibilidade para estimativas de
535 herdabilidades e correlações, pode ter sido ocasionada devido ao tamanho amostral, ao
536 limitado número de famílias, a utilização de uma única geração e a fatores ambientais não
537 controlados durante o cultivo. Segundo Knibb et al. (2016), o pequeno número de
538 famílias, reprodutores e matrizes é um aspecto quase que inevitável para grandes espécies
539 marinhas, devido ao tamanho e logística necessária para manter os animais. O baixo
540 número de famílias é uma condição característica da espécie no ambiente natural, dada a
541 complexidade biológica dos animais, uma vez que são peixes hermafroditas protogínicos.
542 Assim, a agregação reprodutiva é composta por um número maior de fêmeas em relação
543 aos machos (7,4:1), podendo ocasionar populações endogâmicas, mesmo em ambiente
544 natural (Reñones et al., 2010). Coeficientes positivos de endogamia foram relatados para
545 populações selvagens de garoupa-verdadeira (Buchholz-Sørensen & Vella, 2016; Vaini
546 et al., 2021), sugerindo que a espécie apresenta de moderada a alta relação de parentesco.

547 Embora os dados do presente estudo fossem relativamente restritos, os animais
548 avaliados foram provenientes de famílias de meio-irmãos, onde as matrizes e o reprodutor
549 não possuíam parentesco genético. Estudos de avaliação genética utilizando baixos
550 números amostrais já foram realizados anteriormente para populações de *Seriola lalandi*
551 (Whatmore et al., 2013) e *Chrysophrys auratus* (Ashton et al., 2019). Apesar do limitado

552 número amostral e da amplitude dos intervalos de credibilidade, nossas estimativas de
553 herdabilidades e correlações ficaram dentro do proposto na literatura para a maior parte
554 das espécies marinhas.

555 As estimativas de ganhos genéticos realizadas para características de importância
556 econômica como peso corporal a despesca (aqui representado pelo peso aos 730 dias) e
557 peso de filé em garoupa-verdadeira, demonstraram um potencial substancial para o
558 melhoramento genético da espécie, principalmente quando aplicadas intensidades de
559 seleções mais altas. Em aquicultura, a utilização da fração de seleção de 0,01% é
560 praticável para a maior parte das espécies, devido à alta fecundidade dos animais.
561 Segundo Zabala et al. (1997), uma fêmea de garoupa-verdadeira pode chegar a produzir
562 300.000 óvulos para cada quilograma de peso vivo, o que possibilita a obtenção de um
563 grande número de progênies.

564 Com as altas herdabilidades obtidas e a possibilidade da utilização de uma fração
565 de seleção de 0,01%, as garoupas desta população poderiam ter seu peso corporal aos 730
566 dias e o peso de filé duplicados em aproximadamente 3,5 gerações (Fig. 1). Em salmão e
567 tilápia, a duplicação da taxa de crescimento só foi alcançada após 6-7 gerações de seleção
568 (Gjedrem, 2012). Segundo Gjedrem & Rye (2018) as espécies com maior ganho genético
569 por geração para características de crescimento são salmão do atlântico (17,8%) e catfish
570 (14,5%). Avaliando o ganho genético para taxa de crescimento em diferentes espécies de
571 peixes, Gjedrem & Baranski (2009) relataram estimativas de ganhos de 10-20% por
572 geração quando esta característica foi utilizada como principal objetivo de seleção. Em
573 estudos com uma população de pargo australiano (*Chrysophrys auratus*), Ashton et al.
574 (2019) sugeriram que a seleção para crescimento poderia promover ganhos genéticos de
575 até 15,7% por geração.

576 De acordo com Gjedrem & Rye (2018) os ganhos genéticos obtidos para
577 crescimento em peixes são de 5-6 vezes maiores que animais terrestres. As principais
578 razões para os elevados ganhos genéticos em espécies aquáticas estão relacionadas à alta
579 fecundidade e ampla variação genética para variáveis de importância econômica
580 (Gjedrem & Robinson, 2014). Acredita-se que as estimativas de ganhos genéticos do
581 presente trabalho tenham sido maiores que as relatadas na literatura devido ao fato da
582 garoupa-verdadeira estar em estágio inicial de domesticação. Como ainda não existem
583 programa de melhoramento genético para a espécie, as populações de garoupa ainda são
584 similares as selvagens, não tendo até o momento, passado por nenhum processo de

585 seleção, o que faz com que haja uma grande variabilidade genética. A seleção genética
586 torna os animais mais eficientemente produtivos, melhorando a utilização dos recursos
587 hídricos, promovendo menor tempo de cultivo (reduzindo custos de produção) e
588 melhorando a qualidade dos produtos ofertados ao consumidor (Gjedrem, 2012; Gjedrem
589 & Rye, 2018).

590 Em conclusão, as estimativas de parâmetros genéticos para as medidas
591 morfométricas, pesos corporais e peso de filé e carcaça sugerem que a seleção de garoupa-
592 verdadeira pode promover ganhos genéticos significativos na população, caso seja
593 implementada pelos aquicultores. Estes são estudos preliminares, realizados pela primeira
594 vez com a espécie. Os resultados aqui apresentados demonstram que a reprodução da
595 espécie, já tecnologicamente dominada, aliada a um programa de melhoramento que
596 aproveite a diversidade genética entre populações selvagens, para formar uma população
597 base com ampla representatividade, propiciará ganhos genéticos significativos no
598 processo de domesticação da espécie. Assim, será possível disponibilizar garoupas em
599 sistemas de cultivo zootecnicamente viáveis, com produção sustentável e ambientalmente
600 certificadas.

601

602 **5. AGRADECIMENTOS**

603

604 Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
605 Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e as empresas Redemar Alevinos,
606 Mar do Brasil, Maricultura Costa Verde e ao Planta Piloto de Processamento de Pescado
607 da Universidade Federal de Lavras pela estrutura cedida para a realização dos
608 experimentos.

609

610 **6. REFERÊNCIAS**

611

612 Aljanabi, S. M., Martinez, I., 1997. Universal and rapid salt-extraction of high quality
613 genomic DNA for PCR-based techniques. *Nucleic Acids Res.* 25, 4692-4693.
614 <https://doi.org/10.1093/nar/25.22.4692>

615

616 Ashton, D. T., Hilario, E., Jaksons, P., Ritchie, P. A., Wellenreuther, M., 2019. Genetic
617 diversity and heritability of economically important traits in captive Australasian
618 snapper (*Chrysophrys auratus*). *Aquaculture.* 505, 190-198.
619 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.034>

620

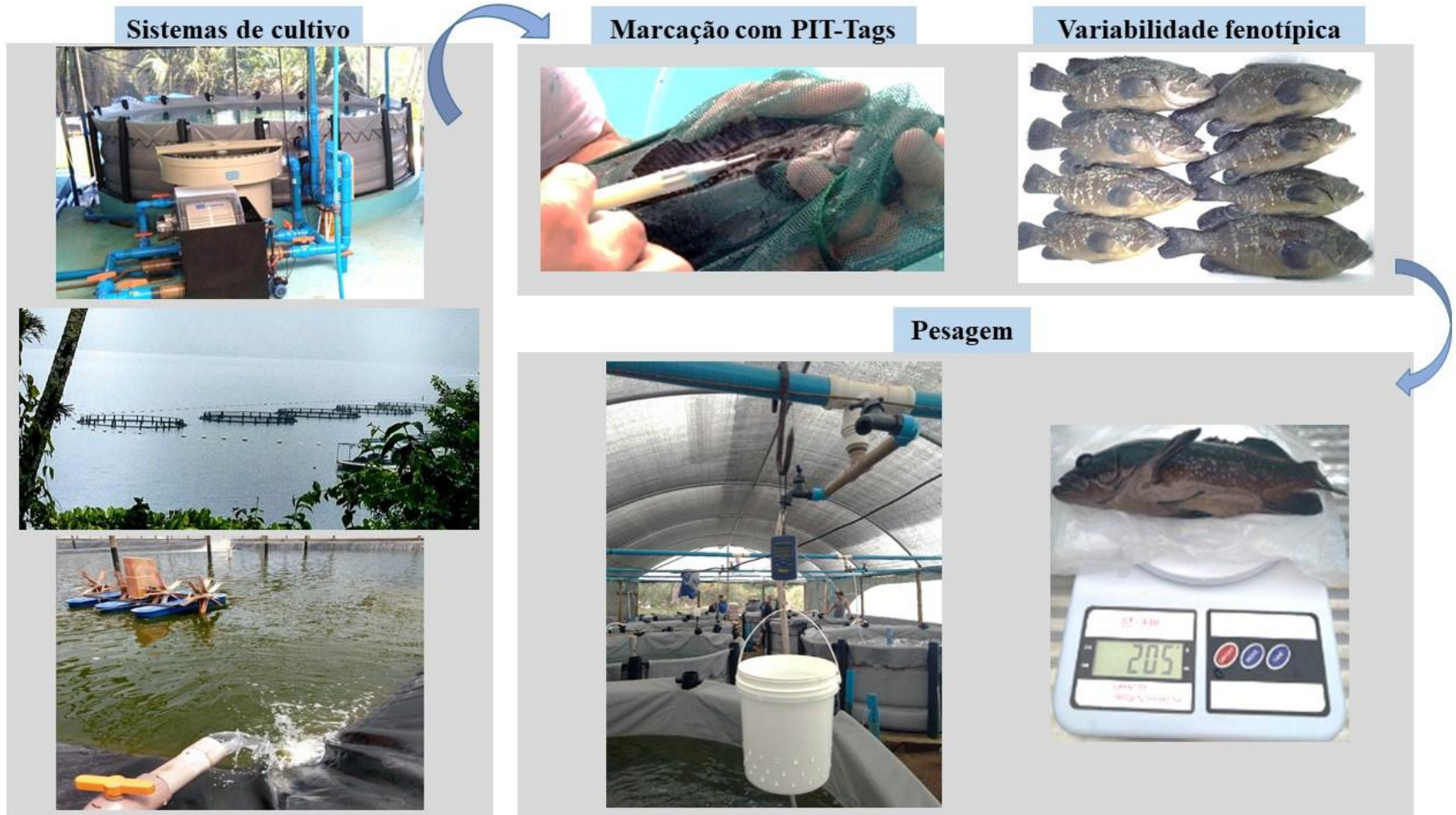
- 621 Begossi, A., Salyvonchyk, S., Glamuzina, B., Souza, S. P., Lopes, P. F. M., Priolli, R.
622 H. G. Prado, D. O., Ramires, M., Clauzet, M., Zapelini, C., Schneider, D. T., Silva, L.
623 T., Silvano, R. A M., 2019. Fishers and groupers (*Epinephelus marginatus* and *E.*
624 *morio*) in the coast of Brazil: integrating information for conservation. J. ethnobiol.
625 ethnomed. 15, 1-26. <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0331-2>
626
- 627 Begossi, A., Lopes, P. F. M., 2020. Garoupa e pescadores (*Epinephelus marginatus*).
628 São Carlos, RiMa Editora. 130p.
629
- 630 Bourdon, R. M., 2000. Understanding animal breeding. Upper Saddle River, Prentice
631 Hall.
632
- 633 BRASIL. Ministério do Meio Ambiente., 2018. Plano de recuperação da garoupa-
634 verdadeira (*Epinephelus marginatus*), no litoral sudeste e sul do Brasil. Brasília. 53p.
635
- 636 Buchholz-Sørensen, M., Vella, A., 2016. Population structure, genetic diversity,
637 effective population size, demographic history and regional connectivity patterns of the
638 endangered dusky grouper, *Epinephelus marginatus* (Teleostei: Serranidae), within
639 Malta's fisheries management zone. PloS One, 11, e0159864.
640 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159864>
641
- 642 Conдини, M. V., García-Charton, J. A., Garcia, A. M. A., 2018. Review of the biology,
643 ecology, behavior and conservation status of the dusky grouper, *Epinephelus*
644 *marginatus* (Lowe 1834). Rev. Fish. Biol. Fisher. 28, 301-330.
645 <https://doi.org/10.1007/s11160-017-9502-1>
646
- 647 Cunha, M. E., Ré, P., Quental-Ferreira, H., Gavaia, P. J., Pousão-Ferreira, P., 2013.
648 Larval and juvenile development of dusky grouper *Epinephelus marginatus* reared in
649 mesocosms. J. Fish Biol. 83, 448-465. <https://doi.org/10.1111/jfb.12180>
650
- 651 Domingos, J. A., Smith-Keune, C., Robinson, N., Loughnan, S., Harrison, P., Jerry, D.
652 R., 2013. Heritability of harvest growth traits and genotype–environment interactions in
653 barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch). Aquaculture. 402, 66-75.
654 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.03.029>
655
- 656 Domingos, J. A., Goldsbury, J. A., Gomes, G. B., Smith, B. G., Tomlinson, C., Bade,
657 T., Sander, C., Forrester, J., Jerry, D. R., 2021. Genotype by environment interactions of
658 harvest growth traits for barramundi (*Lates calcarifer*) commercially farmed in marine
659 vs. freshwater conditions. Aquaculture, 532, 735989.
660 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735989>
661
- 662 Garber, A. F., Amini, F., Gezan, S. A., Swift, B. D., Hodkinson, S. E., Nickerson, J.,
663 Bridger, C. J., 2019. Genetic and phenotypic evaluation of harvest traits from a
664 comprehensive commercial Atlantic salmon, *Salmo salar* L., broodstock program.
665 Aquaculture, 503, 242-253. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.001>
666
- 667 Geweke, J. F., 1991. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the
668 calculation of posterior moments. Federal Reserve Bank of Minneapolis.
669

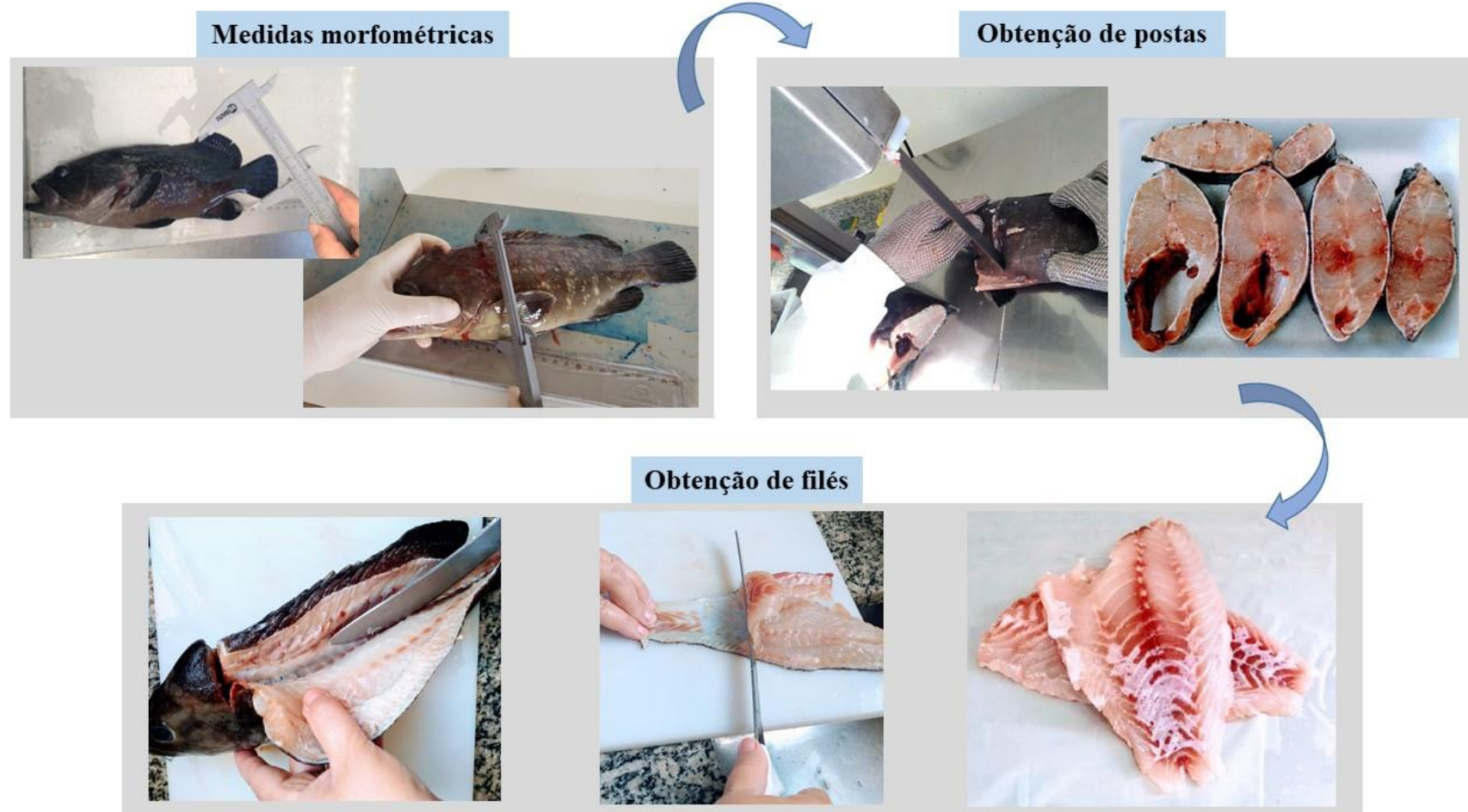
- 670 Gianola, D., Rosa, G. J. M., 2015. One hundred years of statistical developments in
671 animal breeding. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 3, 19-56. [https://doi.org/10.1146/annurev-](https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-110733)
672 [animal-022114-110733](https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-110733)
- 673
- 674 Gjedrem, T., Baranski, M., 2009. Selective breeding in aquaculture: an introduction.
675 Springer, Heidelberg. 221 p.
- 676
- 677 Gjedrem, T., 2012. Genetic improvement for the development of efficient global
678 aquaculture: a personal opinion review. *Aquaculture.* 344, 12-22.
679 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.003>
- 680
- 681 Gjedrem, T., Robinson, N., 2014. Advances by selective breeding for aquatic species: a
682 review. *Agric. Sci.* 5, 1152-1158. <https://doi.org/10.4236/as.2014.512125>
- 683
- 684 Gjedrem, T., Rye, M., 2018. Selection response in fish and shellfish: a review. *Rev.*
685 *Aquac.* 10, 168-179. <https://doi.org/10.1111/raq.12154>
- 686
- 687 Heidelberger, P., Welch, P. D., 1981. A spectral method for confidence interval
688 generation and run length control in simulations. *Commun. ACM.* 24, 233-245.
689 <https://doi.org/10.1145/358598.358630>
- 690
- 691 Kalinowski, S. T., Taper, M. L., 2007. Marshall, T. C. Revising how the computer
692 program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity
693 assignment. *Mol. Ecol.* 16, 1099-1106. [https://doi.org/10.1111/j.1365-](https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03089.x)
694 [294X.2007.03089.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03089.x)
- 695
- 696 Kerber, C. E., Silva, H. K. A., Santos, P. A., Sanches, E. G., 2012. Reproduction and
697 larviculture of dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) in Brazil. *J. Agric.*
698 *Sci. Technol. B.* 2, 229-234.
- 699
- 700 Khang, P. V., Phuong, T. H., Dat, N. K., Knibb, W., Nguyen, N. H., 2018. An 8-year
701 breeding program for Asian seabass *Lates calcarifer*: genetic evaluation, experiences,
702 and challenges. *Front. Genet.* 9, 191. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00191>
- 703
- 704 Knibb, W., Miller, A., Quinn, J., D'antignana, T., Nguyen, N. H., 2016. Comparison of
705 lines shows selection response in kingfish (*Seriola lalandi*). *Aquaculture.* 452, 318-325.
706 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.015>
- 707
- 708 Kristjánsson, T., Arnason, T., 2016. Heritability of economically important traits in the
709 Atlantic cod *Gadus morhua* L. *Aquac. Res.* 47, 349-356.
710 <https://doi.org/10.1111/are.12496>
- 711 Pattarapanyawong, N., Sukhavachana, S., Senanan, W., Srithong, C., Joerakate, W.,
712 Tunkijjanukij, S., Poompuang, S., 2021. Genetic parameters for growth and fillet traits
713 in Asian seabass (*Lates calcarifer*, Bloch 1790) population from Thailand. *Aquaculture.*
714 539, 736629. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736629>
- 715
- 716 Pedrazzani, A., Carneiro, P. C. F., Kirschnik, P. G., Molento, C. F. M., 2009. Impacto
717 negativo de secção de medula e termonarçose no bem-estar e na qualidade da carne da
718 tilápia-do-Nilo. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 10, 188-197.

- 719 Pollard, D. A., Afonso, P., Bertoncini, A. A., Fennessy, S., Francour, P., Barreiros, J.,
720 2018. *Epinephelus marginatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018:
721 e.T7859A100467602.
- 722
- 723 R CORE TEAM., 2016. R: A language and environment for statistical computing. R
724 Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- 725
- 726 Reñones, O., Grau, A., Mas, X., Riera, F., Saborido-Rey, F., 2010. Reproductive pattern
727 of an exploited dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) (Pisces:
728 Serranidae) population in the western Mediterranean. *Sci. Mar.* 74, 523-537.
729 <https://doi.org/10.3989/scimar.2010.74n3523>
- 730
- 731 Rimmer, M. A., Glamuzina, B., 2019. A review of grouper (Family Serranidae:
732 Subfamily Epinephelinae) aquaculture from a sustainability science perspective. *Rev.*
733 *Aquac.* 11, 58-87. <https://doi.org/10.1111/raq.12226>
- 734
- 735 Sadovy de Mitcheson, Y., Craig, M. T., Bertoncini, A. A., Carpenter, K. E., Cheung, W.
736 W., Choat, J. H., Cornish, A. S., Fennessy, S. T., Ferreira, B. P., Heemstra, P. C., Liu,
737 M., Myers, R. F., Pollard, D. A., Rhodes, K. L., Rocha, L. A., Russell, B. C., Samoilys,
738 M. A., Sanciangco, J., 2013. Fishing groupers towards extinction: a global assessment
739 of threats and extinction risks in a billion dollar fishery. *Fish Fish.* 14, 119-136.
740 <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00455.x>
- 741
- 742 Sanches, E. G., Henriques, M. B., Fagundes, L., Silva, A. A., 2006. Viabilidade
743 econômica do cultivo da garoupa verdadeira (*Epinephelus marginatus*) em tanques-
744 rede, região sudeste do Brasil. *Inf. Economic.* 36, 15-25.
- 745
- 746 Schuelke, M., 2000. An economic method for the fluorescent labeling of PCR
747 fragments. *Nat. Biotechnol.* 18, 233-234. <https://doi.org/10.1038/72708>
- 748
- 749 Shapawi, R., Abdullah, F. C., Senoo, S., Mustafa, S., 2019. Nutrition, growth and
750 resilience of tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) x giant grouper (*Epinephelus*
751 *lanceolatus*) hybrid-a review. *Rev. Aquac.* 11, 1285-1296.
752 <https://doi.org/10.1111/raq.12292>
- 753
- 754 Smith, B. J., 2007. Boa: an R package for MCMC output convergence assessment and
755 posterior inference. *J. Stat. Softw.* 21, 1-37. <https://doi.org/10.18637/jss.v021.i11>
- 756
- 757
- 758 Vaini, J. O., Mota, K. G., Ojeda, A. P., Barreiros, J. P., Moreira, R. G., Hilsdorf, A. W.
759 S., 2019. Development and characterization of 20 polymorphic microsatellite markers
760 for *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Perciformes: Epinephelidae) using 454
761 pyrosequencing. *Genet. Mol. Biol.* 42, 74-79. [https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-](https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2018-0067)
762 [2018-0067](https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2018-0067)
- 763
- 764 Vaini, J. O., Domingues, R. R., Ferrette, B. L. D. S., Hallerman, E. M., Mota, K. G.,
765 Barreiros, J. P., Hilsdorf, A. W. S., 2021. Global population genetic structure of the
766 sequential hermaphrodite, dusky grouper (*Epinephelus marginatus*). *Aquatic. Conserv.:*
767 *Mar. Freshw. Ecosyst.* 1-12. <https://doi.org/10.1002/aqc.3608>

- 768 Van Tassell, C. P., Van Vleck, L. D., 1996. Multiple-trait Gibbs sampler for animal
769 models: flexible programs for Bayesian and likelihood-based (co) variance component
770 inference. *J. Anim. Sci.* 74, 2586-2597. <https://doi.org/10.2527/1996.74112586x>
771
- 772 Ye, B., Wan, Z., Wang, L., Pang, H., Wen, Y., Liu, H., Liang, B., Lim, H. S., Jiang, J.,
773 Yue, G., 2017. Heritability of growth traits in the Asian seabass (*Lates calcarifer*).
774 *Aquaculture Fish.* 2, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.06.001>
775
- 776 Yúfera, M., Ortiz-Delgado, J. B., Hoffman, T., Sigüero, I., Urup, B., Sarasquete, C.,
777 2014. Organogenesis of digestive system, visual system and other structures in Atlantic
778 bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) larvae reared with copepods in mesocosm system.
779 *Aquaculture.* 426, 126-137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.031>
780
- 781 Whatmore, P., Nguyen, N. H., Miller, A., Lamont, R., Powell, D., D'antignana, T.,
782 Bubner, E., Elizur, A., Knibb, W., 2013. Genetic parameters for economically important
783 traits in yellowtail kingfish *Seriola lalandi*. *Aquaculture.* 400, 77-84.
784 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.03.002>
785
- 786 Zabala, M., Garcia-Rubies, A., Louisy, P., Sala, E., 1997. Spawning behaviour of the
787 Mediterranean dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces,
788 Serranidae) in the Medes Islands Marine Reserve (NW Mediterranean, Spain). *Sci. Mar.*
789 61, 65-77.
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803

APÊNDICE A – Imagens sobre as etapas experimentais do Artigo 1



APÊNDICE B – Imagens sobre as etapas experimentais do Artigo 2

APÊNDICE C – Imagens sobre as etapas experimentais do Artigo 3

