



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

ISABELA DE ABREU RODRIGUES PONTE

DINÂMICA POPULACIONAL DO SIRIGADO *Mycteroperca bonaci* E
GAROUPA VERMELHA *Epinephelus morio* (TELEOSTEI: EPINEPHELIDAE)
CAPTURADOS NO ATLÂNTICO EQUATORIAL BRASILEIRO

FORTALEZA

2022

ISABELA DE ABREU RODRIGUES PONTE

DINÂMICA POPULACIONAL DO SIRIGADO *Mycteroperca bonaci* E GAROUPA
VERMELHA *Epinephelus morio* (TELEOSTEI: EPINEPHELIDAE) CAPTURADOS
NO ATLÂNTICO EQUATORIAL BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Ciências
Marinhas Tropicais, como requisito
parcial à obtenção do título de Doutor
em Ciências Marinhas Tropicais da
Universidade Federal do Ceará.

Orientador: Profa. Dr.^a Caroline
Vieira Feitosa

Coorientador: Profa. Dr.^a Beatrice
Padovani Ferreira

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P857d Ponte, Isabela.
DINÂMICA POPULACIONAL DO SIRIGADO *Mycteroperca bonaci* E GAROUPA VERMELHA
Epinephelus morio (TELEOSTEI: EPINEPHELIDAE) CAPTURADOS NO ATLÂNTICO
EQUATORIAL BRASILEIRO / Isabela Ponte. – 2022.
60 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2022.

Orientação: Profa. Dra. Caroline Vieira Feitosa.

Coorientação: Profa. Dra. Beatrice Padovani Ferreira.

1. Garoupas. 2. Reprodução. 3. Transição sexual. 4. Idade e Crescimento. I. Título.

CDD 551.46

ISABELA DE ABREU RODRIGUES PONTE

DINÂMICA POPULACIONAL DO SIRIGADO *Mycteroperca bonaci* E *GAROUPA VERMELHA* *Epinephelus morio* (TELEOSTEI: EPINEPHELIDAE) CAPTURADOS NO ATLÂNTICO EQUATORIAL BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará.

Orientador: Profa. Dr.^a Caroline Vieira Feitosa

Coorientador: Profa. Dr.^a Beatrice Padovani Ferreira

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Caroline Vieira Feitosa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Tommaso Giarrizzo
Universidade Federal do Ceará

Prof. Guelson Batista da Silva
Universidade Federal Rural do Semiárido

Prof. Dr. Marcelo Francisco de Nóbrega
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Aline Rocha Franca
Pesquisadora Projeto REPENSA PESCA

RESUMO

O sirigado (*Mycteroperca bonaci*) e a garoupa vermelha (*Epinephelus morio*) são peixes recifais de grande porte que tem sido alvo de intensa exploração pesqueira por pescarias comerciais e recreacionais. Devido às suas características biológicas (e.g. maturação sexual tardia, baixa taxa reprodutiva, extensa longevidade e formação de agregação reprodutiva), estas espécies tornam-se mais vulneráveis à sobrepesca. Assim, seus status na IUCN são de espécies quase em perigo de extinção. Esta tese foi dividida em dois capítulos com dados inéditos sobre dinâmica populacional de duas espécies de garoupas capturadas no litoral do Maranhão e desembarcadas no Ceará. Os capítulos objetivaram estabelecer os parâmetros reprodutivos, de crescimento e mortalidade dessas duas espécies supracitadas para fins de ordenamento. Os dados (biometria, gônadas e otólitos) foram amostrados mensalmente, por dois anos consecutivos (2017 e 2018). Foram aferidos o comprimento total (cm) e peso (kg) de 137 indivíduos de *M. bonaci* e 122 de *E. morio*, os quais o peso e comprimento mínimo e máximo foram 0,976 – 54kg e 44 – 157cm e 1,13 – 9,23 kg e 46 - 91cm, respectivamente. Para o sirigado a relação peso-comprimento foi estabelecido ($\log(TW) = 11,26 + 3,01\log(TL)$), os parâmetros de crescimento foram obtidos por meio do modelo Von Bertalanffy (TL_{∞} (cm): 185.5, k: 0,04, t_0 (ano): 4,75 (t_0 não fixo) e TL_{∞} (cm): 141, k: 0,11 ($t_0 = 0$ fixo)). Os valores mais elevados de GSI e maior frequência de desova de indivíduos “capazes de desovar” ocorreram durante os meses de junho a agosto, indicando os picos de desova. A taxa de mortalidade total estimada (Z) de acordo com a curva de captura por idade apresentou um valor $Z = 0,11$, e a mortalidade natural foi $M = 0,04 \text{ ano}^{-1}$. Para a garoupa vermelha a relação peso-comprimento total foi estabelecido ($\ln W_t = 3,0308 \ln TL - 11,345$), os parâmetros de crescimento obtidos por meio do modelo Von Bertalanffy (TL_{∞} (cm): 81,90, k: 0,21, $t_0 = 0$ fixo e TL_{∞} (cm): 133,05, k: 0,03, $t_0 = -13,196$). O período de desova correspondeu à estação seca no norte do país (junho a dezembro) e a mortalidade total foi $Z = 0,24 \text{ anos}^{-1}$ e a mortalidade natural foi $M = 0,12 \text{ anos}^{-1}$. Espera-se que por meio dos resultados obtidos, políticas públicas possam ser delineadas para garantir uma exploração sustentável desses recursos.

Palavras-chaves: garoupa, idade, crescimento, reprodução, transição sexual.

ABSTRACT

Black grouper (*Mycteroperca bonaci*) and Red Grouper (*Epinephelus morio*) are large reef fishes that have been subject to intense exploitation by commercial and recreational fisheries. Due to their biological characteristics (e.g. late sexual maturity, low reproductive rate, extensive longevity, and formation of reproductive aggregations), these species become more vulnerable to overfishing. Thus, their IUCN status is near endangered species. This thesis was divided into two chapters with unpublished data on population dynamics of two species of groupers caught off the coast of Maranhão and landed in Ceará. The chapters aimed to establish the reproductive, growth and mortality parameters of these two species for management purposes. Data (e. g. biometrics, gonads and otoliths) were sampled monthly, for two consecutive years (2017 and 2018). The total length (cm) and weight (kg) of 137 individuals of *M. bonaci* and 122 of *E. morio* were measured, which the minimum and maximum weight and length were 0.976 - 54kg and 44 - 157cm and 1.13 - 9.23 kg and 46 - 91cm, respectively. For black grouper the length-weight relationship was established ($\log(TW) = 11.26 + 3.01\log(TL)$), growth parameters were obtained using the Von Bertalanffy model (TL_{∞} (cm): 185.5, k: 0.04, t_0 (year): 4.75 (t_0 not fixed) and TL_{∞} (cm): 141, k: 0.11 ($t_0 = 0$ fixed)). The highest GSI values and highest frequency of spawning "able to spawn" individuals occurred during the months of June through August, indicating the spawning peaks. The estimated total mortality rate (Z) according to the catch-at-age curve showed a Z value = 0.11 years⁻¹, and the natural mortality was M = 0.04 years⁻¹. For red grouper the total length-weight relationship was established ($\ln W_t = 3.0308 \ln TL - 11.345$), the growth parameters obtained using the Von Bertalanffy model (TL_{∞} (cm): 92,46, k: 0.136, $t_0 = -2,02$). The spawning period corresponded to the dry season in the north of the country (June to December) and the total mortality was Z = 0.24 years⁻¹ and the natural mortality was M = 0.12 years⁻¹. It is hoped that through the results obtained, public policies can be designed to guarantee a sustainable exploitation of these resources.

Keywords: grouper, age, growth, reproduction, sexual transition.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figure 1- Map of the fishing region with highlights of the sea (A to B) and land (B to C) routes of *M. bonaci* captured off the coast of Maranhão. NOTE: assumed fishing area as reported by fisher's personal communication.....20
- Figure 2- Arrival of catches of *M. bonaci* in fishmongers containing specimens of various sizes captured on the coast of Maranhão (a,b,c) and biometrics being carried out before sale (d).....20
- Figure 3 - Otolith sectioned from a 71 cm long specimen of *M. bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil, showing the standardized reading axis (nucleus - ventral region). N= nucleus.....21
- Figure 4 - Boxplot of the total weight and total length of *M. bonaci* specimens sampled from May 2017 to March 2019 from the coast of Maranhão, Brazil.....22
- Figure 5 - Frequency distribution by length classes of *M. bonaci* specimens sampled from May 2017 to March 2019 from the coast of Maranhão.....22
- Figure 6 - Length-weight relationship of black grouper *M. bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil.....23
- Figure 7 - Relationship between total length of fish (cm) and length of otoliths (mm) of black grouper *M. bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil.....23
- Figure 8 - Frequency distribution by length classes of *M. bonaci* specimens with gonads sampled from May 2017 to March 2019 from the coast of Maranhão, Brazil.....24
- Figure 9- Photomicrographs of gonads of *M. bonaci* sampled on the coast of Maranhão, Brazil. A= Female spawning capable, evidenced by the presence of oocytes with migration of germinal vesicle (VGM), vitellogenic oocytes stages (Vtg1 and Vtg3), primary growth (PG), cortical alveolar (CA) and atresia (a). B= Female classified as regressing, characterized by the presence of postovulatory follicles (POF), hydrated oocytes (H) and some cortical alveoli (CA). C= Female developing reproductive phase featuring atresia (a), primary growth (PG), cortical alveoli (CA) and Vtg1 and Vtg2 oocytes. D= Female regenerating phase exhibiting only primary growth (PG) and muscle bundles (MB).....24
- Figure 10- Monthly variation in the gonadosomatic index (GSI) analysis of the females of *M. bonaci* during the period May 2017-March 2019. Note: red line = polynomial fit, where there is a higher concentration of points.....25
- Figure 11- Relative frequency (%) of maturation stages for *M. bonaci* females per month collected between May 2007 and March 2019 from Maranhão, Brazil. Note: it was not possible to prepare a histological slide with the gonads collected in February.....25

Figure 12- Von Bertalanffy growth curve with the parameter t_0 not fixed for black grouper *M. bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil.....26

Figure 13- Von Bertalanffy growth curve with the parameter t_0 fixed at zero value for black grouper *M. bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil.....26

Figure 14- Catch curve based on observed age for black grouper *M. bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil. Ages 1–3 were excluded (outliers) because they were considered not fully recruited to the gear. Caption: A = annual survivorship; Z = total rate mortality. F = 32,87; a = 3,48; b = -0.11; R² = 0.86.....27

Capítulo 2

Figura 1 - Figura 1: Mapa da região de pesca com destaque para a área de pesca, rotas marítimas e terrestres de *Epinephelus morio* capturadas ao largo da costa do Maranhão. NOTA: Área de pesca presumida, reportada pela comunicação pessoal com os pescadores.....35

Figura 2 - Espécimes de *Epinephelus morio* capturados na costa de Maranhão. Gônada retirada e tendo o peso aferido (a), otólito sagittae sendo retirado por pinça (b), indivíduo sendo pesado em balança comercial (c) e aferição de comprimento (d).....36

Figura 3- Otolito seccionado de um espécime de 70 cm de comprimento da *Epinephelus morio* capturado na costa do Maranhão, Brasil, mostrando o eixo de leitura padronizada (do núcleo até a margem ventral).....37

Figura 4 - Boxplot do peso total e comprimento total de espécimes de *Epinephelus morio* amostrados na costa do Maranhão, Brasil.....40

Figura 5- Distribuição de frequência de comprimento de espécimes de *Epinephelus morio* amostrados na costa do Maranhão. Linha preta contínua: densidade; Linha tracejada: moda.....40

Figura 6 - Relação peso-comprimento da garoupa vermelha *E. morio* na costa do Maranhão, Brasil.....41

Figura 7 - Relação entre o comprimento total dos peixes (cm) e o comprimento dos otólitos (mm) da garoupa vermelha *E. morio* capturados na costa do Maranhão, Brasil..41

Figura 8 - Relação entre a idade dos peixes e o peso dos otólitos (g) da garoupa vermelha *E. morio* capturados na costa do Maranhão, Brasil.....42

Figura 9 - Boxplot do comprimento total e peso total em relação ao sexo, incluindo indivíduos em transição.....43

Figura 10 - Distribuição de frequência de comprimento por sexo e em transição dos indivíduos capturados na costa do Maranhão, Brasil.....44

Figura 11- Lâminas histológicas de gônadas de fêmeas de *E. morio* capturadas na costa do Maranhão. A) em desenvolvimento; B) capaz de desovar; C) ativamente desovando; D) em regressão; E) em regeneração.....45

Figura 12 - Lâminas histológicas de gônadas de machos de <i>E. morio</i> capturadas na costa do Maranhão. A) em desenvolvimento; B) capaz de desovar; C) em regressão; D) em regeneração.....	45
Figura 13 - Boxplot das estações (seca e chuvoso) em relação ao índice gonadossomático (IGS) aferido dos espécimes de <i>E. morio</i> capturados na costa do Maranhão.....	46
Figura 14 - Distribuição comparada entre o IGS e a pluviosidade (mm) por mês na costa do Maranhão, Brasil.....	47
Figura 15 - Frequência relativa (%) das fases de maturação para <i>Epinephelus morio</i> por mês capturadas na costa do Maranhão, Brasil.....	48
Figura 16 - Curva de crescimento Von Bertalanffy com o parâmetro t_0 não fixado para a garoupa vermelha <i>Epinephelus morio</i> na costa do Maranhão, Brasil.....	49

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Table 1- Von Bertalanffy parameters available in the literature and growth performance for black grouper with grouped sexes.....	22
--	----

Capítulo 2

Tabela 1: Proporção sexual por mês dos indivíduos capturados na Costa do Maranhão.....	42
Tabela 2: Proporção sexual por classe de comprimento dos indivíduos capturados na Costa do Maranhão.....	43
Tabela 3: Comparações <i>post-hoc</i> pelo teste de Mann-Whitney do IGS entre os meses para a garoupa vermelha (<i>E. morio</i>). *Correlações significativas ao nível de 5% ($p < 0,05$).....	46
Tabela 4: Parâmetros de von Bertalanffy disponíveis na literatura e performance de crescimento para a garoupa vermelha com os sexos agrupados.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3	REFERÊNCIAS.....	14
4	CAPÍTULO 1- DEMOGRAPHY OF THE BLACK GROUPER, <i>Mycteroperca Bonaci</i> (POEY, 1860) (TELEOSTEI: EPINEPHELIDAE) FROM THE NORTH BRAZIL SHELF.....	16
5	CAPÍTULO 2- IDADE, CRESCIMENTO E REPRODUÇÃO DA GAROUPA VERMELHA, <i>Epinefelus Morio</i> (VALENCIENNES, 1828) DA PLATAFORMA DO NORTE DO BRASIL.....	32
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a pesca marinha é responsável pela produção de mais de 500.000 t de pescado nacional, tendo a pesca de pequena escala, ou artesanal, como uma das atividades econômicas mais tradicionais, responsável por 47,2% da produção. (BOLETIM DA PESCA E AQUICULTURA, 2010; IBAMA, 2007). A maior parcela da produção nacional é oriunda da região Nordeste responsável por 195.842 t (MPA, 2012; IBAMA, 2007).

Apesar de considerada uma peça essencial na manutenção da sustentabilidade global, a pesca artesanal não deve ser romantizada, (SANTOS et al., 2012), uma vez que em grande parte do mundo esse tipo de pescaria sofre carência de atenção podendo gerar estatísticas potencialmente enganosas, como dados subestimados ou omitidos (ZELLER et al., 2015; PAULY et al., 2006).

Dessa forma, a utilização dos recursos marinhos deve estar em consonância com o uso sustentável e a divisão igualitária dos benefícios da biodiversidade (REVIZEE, 2006), pois devido à sobreexploração pesqueira, muitas espécies de peixes encontram-se sob sérios riscos de depleção e ameaçadas de extinção (PAULY e ZELLER, 2016).

O Brasil apresenta um histórico de sobrepesca, agravado pela inabilidade das fiscalizações sobre as atividades pesqueiras e gestão costeira, onde os principais estoques de pesca brasileiros encontram-se em estado de sobreexploração ou colapsados, perdendo sua importância comercial (REVIZEE, 2006).

A legislação tem o papel de funcionar como um suporte básico de proteção aos estoques pesqueiros e a manutenção da pesca, uma vez que há necessidade de melhorar o monitoramento de todas as pescarias, incluindo a pesca em pequena escala, muitas vezes negligenciada, assim como pescarias ilegais e outras problemáticas, bem como a captura incidental descartada (PAULY e ZELLER, 2016).

Com o intuito de recuperar as populações de importantes recursos marinhos, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) publicou a Portaria 445 de 17 de dezembro de 2014 que lista os peixes e invertebrados aquáticos da “Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção – Peixes e Invertebrados Aquáticos” como ameaçados. E aqueles categorizados como extintos na natureza, criticamente em perigo, em perigo e vulnerável, tornam-se protegidos de modo integral. Entretanto, as espécies classificadas na categoria vulnerável podem ter captura permitida desde que seja comprovado o seu

uso sustentável, ou seja, que haja um plano de manejo pesqueiro visando a sua conservação.

É importante ressaltar que o conceito de sustentabilidade para as produções pesqueiras, de acordo com a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, deve implicar em um desenvolvimento que contemple as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de satisfazer suas necessidades (FAO, 2016). Portanto, pesquisas voltadas para o desenvolvimento sustentável das pescarias são de relevante importância para investigar alternativas de manejo para gestão dos estoques explorados.

A subfamília Epinephelidae (garoupas) é um grupo de grande importância comercial no Brasil (IBAMA, 2007) com algumas espécies inseridas na Lista Vermelha da Portaria 445/2014 do MMA, como a garoupa vermelha (*Epinephelus morio*) e o sirigado (*Mycteroperca bonaci*).

Existem algumas características biológicas inerentes a certas espécies que as tornam particularmente mais vulneráveis à sobrepesca (JOHANNES et al, 1999; SADOVY, 2001); às espécies de garoupas, além do grande porte, apresentam maturação e reprodução sexual tardia, baixa taxa reprodutiva, extensa longevidade e formação de densas agregações reprodutivas tornando-as ainda mais susceptíveis a atividade pesqueira (PARRISH, 2005, TEIXEIRA, FERREIRA e PADOVAN, 2004; EKLUND e SHCULL, 2001).

A constatação de declínio populacional, seja através de dados estatísticos (GIGLIO et al., 2014), do conhecimento empírico de pescadores (BENDER et al., 2014) e/ ou pesquisadores (FEITOSA, C. V. com. pes.) é uma implicação observada para essas espécies.

A sobrepesca, o manejo inadequado e a demanda do mercado ilustram a vulnerabilidade dos recursos pesqueiros com o colapso de pescarias no mundo todo (FAO, 2011). À vista disso, estudos de dinâmica de populações das espécies de peixes marinhos tornam-se muito importantes, a fim de promover capturas racionais e a conservação dos estoques (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2006).

Há carência de informações relevantes para o manejo como o mapeamento de áreas e período de agregações reprodutivas e alimentares, assim como estudos sobre dinâmica populacional dessas espécies no país, uma vez que estudos sobre aspectos biológicos se encontram fragmentados e insuficientes (FREITAS et al., 2015; FREITAS, 2014).

As capturas de *M. bonaci* e *E. morio* foram realizadas no litoral maranhense (Maranhão, NE do Brasil) que possui uma grande diversidade íctia e é reconhecida pela riqueza de recursos pesqueiros demersais (CAMARGO E ISAAC, 2003) com o domínio de embarcações não motorizadas (TORRES et al., 2003).

Diante do exposto, visando futuras medidas de ordenamento e de práticas que garantam uma exploração sustentável a esses recursos explorados através da pesca artesanal que pela primeira vez está sendo relatado e pesquisado; o presente estudo pretende, portanto, ampliar e atualizar o escasso conhecimento sobre a dinâmica populacional das espécies *Mycteroperca bonaci* e *Epinephelus morio* capturados através da pesca artesanal, trazendo o relato inédito de capturas de *E. morio* e *M. bonaci* para o litoral do Maranhão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estabelecer os parâmetros populacionais das espécies *Mycteroperca bonaci* e *Epinephelus morio* visando subsídios para futuras medidas de manejo e práticas de exploração sustentável desses recursos.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a estrutura populacional a partir da distribuição de frequência de comprimento e composição sexual.
- Estabelecer os parâmetros de crescimento (k – taxa de crescimento, L_{∞} – comprimento máximo teórico e $t_{m\acute{a}x}$ - longevidade) das espécies.
- Determinar o período reprodutivo com base em análises histológicas de ovários e testículos.
- Estimar a idade de primeira maturação para machos e fêmeas das espécies de garoupas *E. morio* e *M. bonaci*.
- Estimar o tamanho e a idade de transição sexual.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO-JÚNIOR, E. S., CASTRO, A. C. L., JÚNIOR, M. G. S. 2006. Dinâmica populacional do bagre guribu *Hexanematichthys herzbergii* (Teleostei:Ariidae) do estuário do Rio Anil (Maranhão-Brasil). Boletim do Laboratório de Hidrobiologia, v.19, p.41-50.
- BOLETIM ESTATÍSTICO DA PESCA E AQUICULTURA. BRASIL.MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. 129p. 2010.
- EKLUND, A. M. e SCHULL, J. A stepwise approach to investigating the movement patterns and habitat utilization of Goliath grouper, *Epinephelus itajara*, using conventional tagging, acoustic telemetry, and satellite tracking. Pages 189–216 in J. R. Sibert and J. L. Nielsen, eds. Electronic tagging and tracking in marine sheries. Kluwer, Dordrecht. 2001.
- FAO. The state of world fisheries and aquaculture. 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome.200 pp. 2016.
- FONTELES-FILHO, A. A. 2011. Oceanografia, biologia e dinâmica populacional de recursos pesqueiros. Expressão gráfica e editora. Fortaleza, 464p.
- FREITAS, MATHEUS OLIVEIRA. Autoecologia de *Epinephelus morio* e *Mycteroperca bonaci*: Epinefelídeos comercialmente importantes e ameaçados no branco de Abrolhos. Tese Universidade Federal do Paraná, 2014.
- FREITAS M.O., ABILHOA V., GIGLIO V.J., HOSTIM-SILVA M., MOURA R.L., FRANCINI-FILHO R.B., MINTE-VERA C.V. 2015. Diet and reproduction of the goliath grouper, *Epinephelus itajara* (Actinopterygii: Perciformes: Serranidae), in eastern Brazil. Acta Ichthyol. Piscat. 45 (1): 1–11.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. 2007. Estatísticas da Pesca 2007. BRASIL. Grandes regiões e Unidades da Federação. Brasília.
- JOHANNES, R.E., SQUIRE, L., GRANAM, T., SADOVY, Y. e RENGUUL, H. Spawning aggregations of Groupers (Serranidae) in Palau. Marine Conservation Research Series Publication n.1, The Nature Conservancy. 144pp. 1999.
- PAULY, D. e ZELLER, D. (Editors). Sea Around Us Concepts, Design and Data. 2015 (www.seaaroundus.org) Pauly, D., & Zeller, D. (2016). Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. Nature Communications 7: 10244. doi:10.1038/ncomms10244.
- PARRISH, Julia K. Behavioral Approaches to Marine Conservation. In: NORSE e CROWDER. Marine Conservation Biology. Washington, p. 80-104. 2005.
- Programa REVIZEE- Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômicamente Exclusiva. Relatório Executivo. Ministério do Meio Ambiente. 303 p. 2006.

SADOVY, Y. The threat of fishing to highly fecund fishes. *Journal of fish Biology*. V. 59, p. 90-108, Dez. 2001. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb01381.x

SANTOS, MARCO PAIS NEVES, SEIXAS, SÓNIA, AGGIO, RAPHAEL BASTOS MARESCHI, HANAZAKI, NATALIA, COSTA, MONICA, SCHIAVETTI, ALEXANDRE, DIAS, JOÃO ALVEIRINHO E AZEITEIRO, ULISSES. A Pesca enquanto Atividade Humana: Pesca Artesanal e Sustentabilidade. *Revista da Gest o Costeira Integrada*. V. 12, n. 4, p. 405- 427. 2012.

TEIXEIRA, SIMONE FERREIRA, FERREIRA, BEATRICE PADOVANI E PADOVAN, ISAÍRAS PEREIRA. Aspects of fishing and reproduction of the black grouper *Mycteroperca bonaci* (Poey, 1860) (Serranidae: Epinephelinae) in the Northeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*. V. 2, n.1, p. 19-30. 2004.

4. CAPÍTULO 1 - Demography of the black grouper, *Mycteroperca bonaci* (Poey, 1860) (Teleostei: Epinephelidae) from the North Brazil Shelf

O artigo “**Demography of the black grouper, *Mycteroperca bonaci* (Poey, 1860) (Teleostei: Epinephelidae) from the North Brazil Shelf**” foi publicado no periódico **Journal of Fish Biology** (Vol. 101, 190 – 203, 2022 - DOI: 10.1111/jfb.15085). Segue a cópia do artigo publicado em maio de 2022.

Demography of the black grouper, *Mycteroperca bonaci* (Poey, 1860) (Teleostei: Epinephelidae) from the North Brazil Shelf

Isabela de Abreu Rodrigues Ponte^{1,2}  | Jonas Eloi de Vasconcelos Filho^{3,4} |
 Caroline Vieira Feitosa^{1,2} | Beatrice Padovani Ferreira^{3,4}

¹Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brazil

²Laboratório de Dinâmica Populacional e Ecologia de Peixes Marinhos (DIPEMAR), Fortaleza, Brazil

³Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brazil

⁴Laboratório de Estudos em Ecossistemas Oceânicos e Recifais (LECOR), Recife, Brazil

Correspondence

Isabela de Abreu Rodrigues Ponte, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Av. da Abolição, 3207, 60165-081, Brazil.

Email: iarp.bio@gmail.com

Abstract

Mycteroperca bonaci (black grouper) is one of the most sought species of grouper along its entire distribution, being a prime target for demersal line fisheries because of its high commercial value. Nonetheless, because of population declines the species is considered near threatened according to the IUCN red list. The present study aimed to determine the population parameters of *M. bonaci*, including growth, reproduction and mortality, and thus contributes to measures towards its conservation and management in the southwestern Atlantic. The sampling area is in the North Brazil Shelf, off Maranhão State, an area of intense fisheries development and yet poorly known. The large continental shelf harbours unique coral reef formations and has been declared an ecologically or biologically significant marine area (EBSA). Sampling on landing sites was carried out monthly between May 2017 and January 2019. A total of 137 black grouper specimens were sampled from commercial landings of artisanal fisheries. The size of the specimens ranged from 44 to 157 cm, and the weight varied from 0.976 to 54 kg. The length–weight was established: $\log(TW) = -11.26 + 3.01\log(TL)$. Histological analysis of the gonads confirmed only the presence of female individuals, and the occurrence of individuals in the sexual transition was not recorded. Higher GSI values and higher frequency of spawning capable staged individuals occurred during the months of June to August, indicating spawning peaks. The estimated age of sexual maturity A_{50} for females was 4.62 years (\bar{x} 93 cm–TL). The growth parameters for the Von Bertalanffy model were TL_{∞} (cm): 185.5, k : 0.04, t_0 (year): -4.75 (t_0 not fixed) and TL_{∞} (cm): 141, k : 0.11 ($t_0 = 0$ fixed). The total estimated mortality rate (Z) according to catch length presented a Z value = 0.11, and the natural mortality was $M = 0.04 \text{ year}^{-1}$. This is the first study on the age and growth of *M. bonaci* in the SWA, a region where the species is considered as endangered according to Brazil's red list regional assessment. Only females were present in the samples, results that suggest either differential capturability of sexes because of distinct patterns of behaviour or distribution or an effect of selective mortality upon larger and older individuals, as the species is described as a protogynous hermaphrodite. This indicates the need to closely manage this population to avoid collapses. Recovery plans that have been planned by the Brazilian government but not yet implemented for the species must be put into practice to avoid progressive decline as fisheries target more remote areas.

KEYWORDS

demersal line fishery, female individuals, management, North Brazil Shelf, recovery plan, vulnerable species

1 | INTRODUCTION

The black grouper *Mycteroperca bonaci* (Poey, 1860) is a widely distributed western Atlantic grouper occurring from Massachusetts in the U.S.A. to southern Brazil, including Bermuda, the southern Gulf of Mexico, Florida Keys, the Bahamas, Cuba and the Caribbean (Craig *et al.*, 2011; Heemstra & Randall, 1993). It is the second-largest grouper in the western Atlantic and has historically been a primary target of fisheries (Padovani-Ferreira *et al.*, 2018).

Along the southwestern Atlantic coast, black grouper is an important component of demersal fisheries caught by handline, longline and spearfishing in reef environments off the continental shelf and/or oceanic banks (Lessa & Nóbrega, 2000; Nóbrega *et al.*, 2009). At that time this species represented c. 8% of the total weight of demersal fish commercially exploited (Ibama, 1999a; Ibama, 1999b; Lessa *et al.*, 2004). The present level of capture is uncertain due to a lack of official statistics since 2008 (Freire *et al.*, 2021). Reconstruction of catches, however, indicates that Brazilian catches still account for the majority of reported and reconstructed catches in the western Atlantic (Freire *et al.*, 2021), although declines of 30%–50% have been reported on landings, interviews (Teixeira *et al.*, 2004; Bender *et al.*, 2014; Giglio *et al.*, 2014) and catch per unit effort data from Brazil over the past three generation lengths (Padovani-Ferreira *et al.*, 2018), prompting an evaluation of its national status as vulnerable according to the Brazilian red list (Icmbio, Instituto Chico Mendes DE Conservação DA Biodiversidade, 2018).

The inherent characteristics of the Epinephelid family (e.g., reproduction mode and behaviour) make them more susceptible to stock collapses when subjected to heavy unmanaged fisheries. Some of them are protogynous hermaphrodites, so selective size fishing mortality may remove males from the population (Crabtree & Bullock, 1998; Padovani-Ferreira *et al.*, 2018). In addition, the species is known to aggregate both to spawn and in periodic runs (Eklund & Schull, 2001; Parrish, 2005; Teixeira *et al.*, 2004).

Although this species has been studied in most of its area of occurrence, such as the northern Atlantic and Caribbean (Brulé *et al.*, 2003; Crabtree & Bullock, 1998; Manooch & Mason, 1987; Rénan *et al.*, 2013), and in the southwestern Atlantic (Freitas *et al.*, 2011, 2018; Teixeira *et al.*, 2004), there is a lack of studies on this species in the North Brazil Shelf or Amazonian ecoregion, where the species occurs mainly offshore Maranhão State.

Furthermore, studies in Brazil refer to reproductive aspects (Freitas, 2014; Freitas *et al.*, 2011; Freitas *et al.*, 2018; Teixeira *et al.*, 2004), ethnoichthyology (Gerhardinger *et al.*, 2007; Begossi and Figueiredo, 1995), feeding ecology (Freitas *et al.*, 2017) and fisheries (Paiva and Andrade-Turbino, 1998; Costa *et al.*, 2003), with a lack of studies reporting on the age and growth of *M. bonaci*.

Therefore, the present study aimed to determine the population parameters of *M. bonaci* covering the growth, reproduction and mortality of the species for an important part of its distribution, the North

Brazil Shelf. To this end, data on growth parameters, age structure, age at maturity, size, sexual transition, sexual composition and natural and total mortality were established so that it is possible to design planning measures and practices that ensure sustainable exploitation of this resource.

2 | MATERIALS AND METHODS

2.1 | Sampling site

The black grouper samples came from commercial landings sold daily at the fish market in Fortaleza, capital of the state of Ceará, northeastern Brazil. The fish are brought to the market by middlemen who buy them at the port of the city of Camocim, an important landing place for Ceará fishing, located in the far west of Ceará.

The black groupers were captured by the artisanal fishing fleet from Ceará using motorized wooden vessels, which operate on the coast of the state of Maranhão, northeast Brazil, capturing demersal species with handlines and longlines. The coast of the state of Maranhão, Brazil, has a large continental platform and shallow coastal waters that are influenced by large river basins (Kjerfve *et al.*, 2002). The fishing areas of the study are composed of estuary bars, islands and marine state park located on the inner and middle continental shelf as well as the slope (Figure 1). The marine park, known as Parcel Manuel Luiz, covers a large coral reef area located on the continental shelf, 86 km from the coast, and has been declared both a state marine park and an ecologically or biologically significant marine area (EBSA) (CBD, 2014). After landing, the catch is packed in trucks and transported to the capital Fortaleza for sale in the fish market.

2.2 | Collecting and processing the samples

Sampling was performed monthly from May 2017 to January 2019 in fishmongers located at the fish market in Fortaleza. The fishery occurs throughout the year.

In the fishmonger (Figure 2), the total length TL (0.1 cm), weight of the whole fish TW (0.01 kg) and gonad GW (0.01 g) and pairs of sagittae otoliths were obtained. For this purpose, a tape measure, a commercial scale and a precision scale (0.001 g) were used. As many fish were gutted before landing (68% of the total samples), it was not possible to sample gonads from all individuals.

2.2.1 | Age and growth

The sagittae pairs of otoliths were removed by the operculum at the data collection site while the fish were gutted. As the specimens were

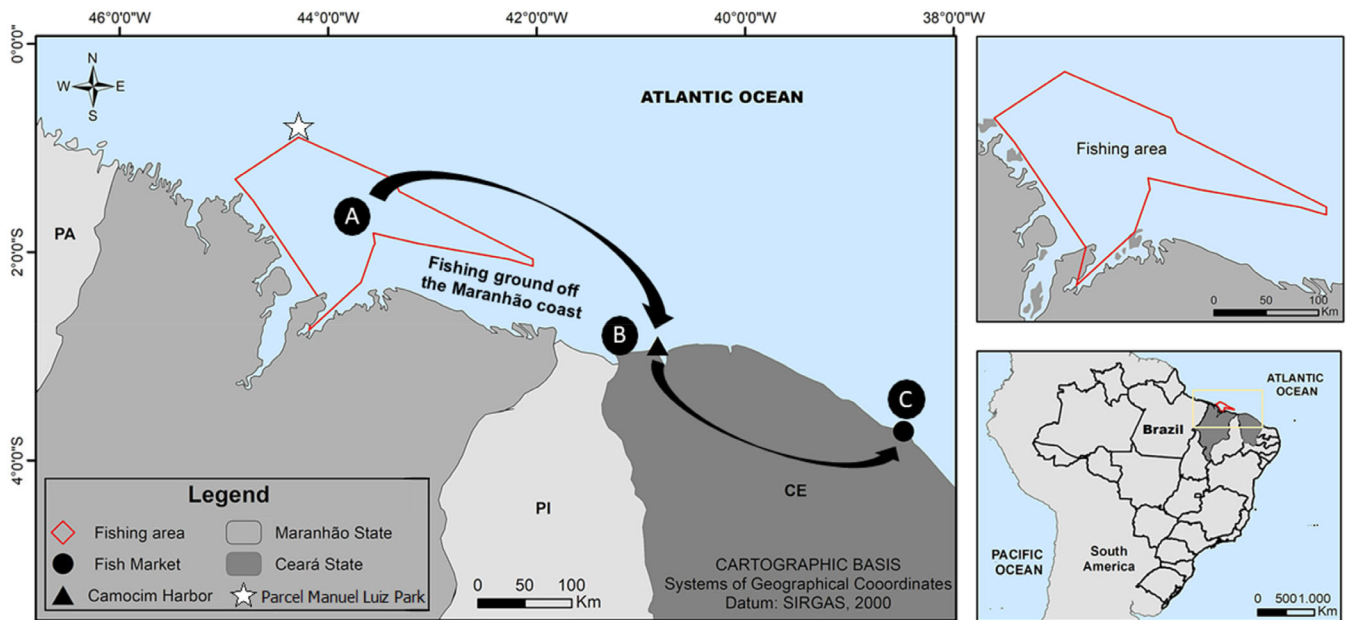


FIGURE 1 Map of the fishing region with highlights of the sea (A to B) and land (B to C) routes of *Mycteroperca bonaci* captured off the coast of Maranhão. Assumed fishing area as reported by fisher's personal communication



FIGURE 2 Arrival of catches of *Mycteroperca bonaci* in fishmongers containing specimens of various sizes captured on the coast of Maranhão (a, b, c) and biometrics being carried out before sale (d)

not bought, this technique was preferred as it maintains the appearance of the animal and does not affect its sale. In the Population Dynamics and Ecology of Marine Fishes laboratory (DIPEMAR) from Federal University of Ceará, the otoliths were cleaned and rinsed, dried, weighed on a precision scale (0.001 g) and stored in a properly labelled Eppendorf-type container. The left otoliths were selected for readings. The otoliths were then embedded in epoxy resin and cross-sectioned in a low-speed Buehler-Isomet diamond blade saw in 350 μ m sections in the Ocean and Reef Ecosystems laboratory from Federal University of Pernambuco.

The slices were mounted on glass slides using Entellan, and when necessary, they were further ground and polished using sandpaper 2000. Age marks were examined in a reflected-light magnifier with a camera attached (Leica S9D), and the opaque zones were counted and considered for age determination (Green *et al.*, 2009a; Hoedt, 1992; Volpedo & Vaz-Dos-Santos, 2015).

Two independent readings were performed without prior knowledge of the animal length. A single axis of reading established from the nucleus to the ventral region was standardized (Figure 3). The mean error percentage index (MEI) was calculated to estimate the accuracy of the two readings (rings) (Beamish & Fournier, 1981). If the index of average percentage error (IAPE) values were equal to or greater than 10%, a third reading was triggered.

To verify whether the otolith is a suitable structure for the study of age and growth, dispersion diagrams were plotted, and significance was established through Pearson's correlation between the data: length of the radius of the otolith – total length of the fish and length of the otolith – the weight of the otolith, and regression between the variables ($P < 0.05$).

Based on previous studies, it was assumed that for the black grouper each pair of bands (opaque and translucent) is formed/deposited annually (Crabtree & Bullock, 1998; Rénan *et al.*, 2013). Indeed, almost all tropical groupers studied lay increments annually (Choat *et al.*, 2009), as observed for *Epinephelus morio* (Valenciennes 1828), *Epinephelus adscensionis* (Osbeck, 1765; Marques & Ferreira, 2018), *Alphistes afer* (Bloch, 1793; Marques & Ferreira, 2016) and *Cephalopholis fulva* (Linnaeus 1758) (Burgos *et al.*, 2007; Reñones *et al.*, 2007; Araujo & Martins, 2006; Lombardi-Carlson *et al.*, 2008),

including the black grouper *M. bonaci* (Crabtree & Bullock, 1998; Manooch & Mason, 1987 and Rénan *et al.*, 2013).

The growth in length was modelled using the von Bertalanffy growth function (VBGF, Beverton & Holt, 1956), where the expected size for a given age is obtained by the equation: $L_T = L_\infty \{1 - e^{-K(t-t_0)}\}$. The calculated parameters were the maximum asymptotic mean total length (TL_∞); the growth coefficient (k) and the theoretical age at the time the length equals zero (t_0). The growth curve was adjusted using the R package nlstools and FSA (Fish Stock Assessment) (Baty *et al.*, 2015). To compare growth curves, the growth performance [$\Phi' = \log(K) + 2\log(L_\infty)$] (Moureau *et al.*, 1986) was calculated using the growth parameters obtained through the VBGF. The Φ' was calculated for this study and previous ones (Table 1).

Linear regression analysis was used to determine the simple relationship between otolith weight and fish age (Ferreira & Russ, 1994). Student's *t*-test was used to evaluate the slope of the linear weight-length relationship, where the null hypothesis $b = 1$ means no changes in fish condition.

2.2.2 | Reproduction

The gonads were fixed in 10% formalin for 24 h and stored in 70% alcohol diluted in sea water. Later, the median fraction of each gonad was submitted to the histological routine established by Vazzoler (1996) for sex confirmation and determination of maturation stages. The sections obtained had a thickness of 6 μ m. Staining was performed using Harris haematoxylin and eosin.

The gonadal development phases were described according to the histological criteria of Brown-Peterson *et al.* (2011) which correspond to Immature (never spawned), Developing (beginning to develop, but not ready to spawn), Spawning capable (able to spawn), Regressing (cessation of spawning) and Regenerating (sexually mature but reproductively inactive), this later corresponding to resting stage in other terminologies (Teixeira *et al.*, 2004). To this classification was added Transition phase (at the time fish begin to change sex), to accommodate alternative reproductive strategies, such as hermaphrodites (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

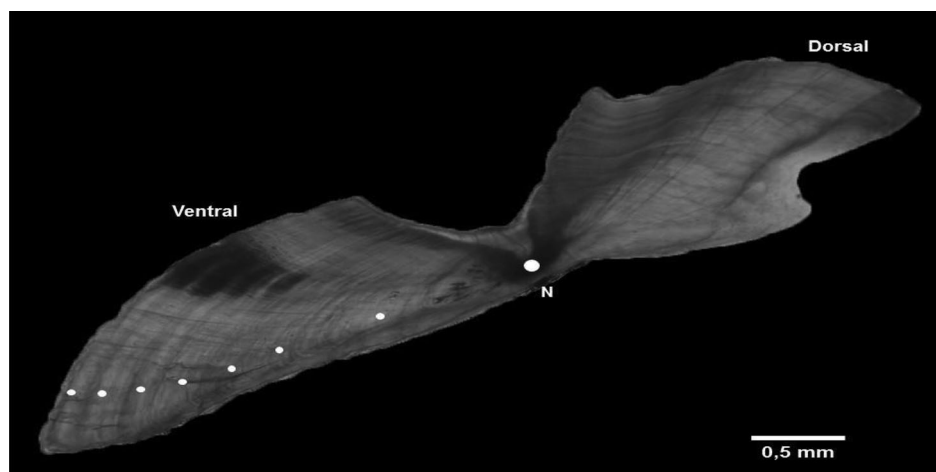
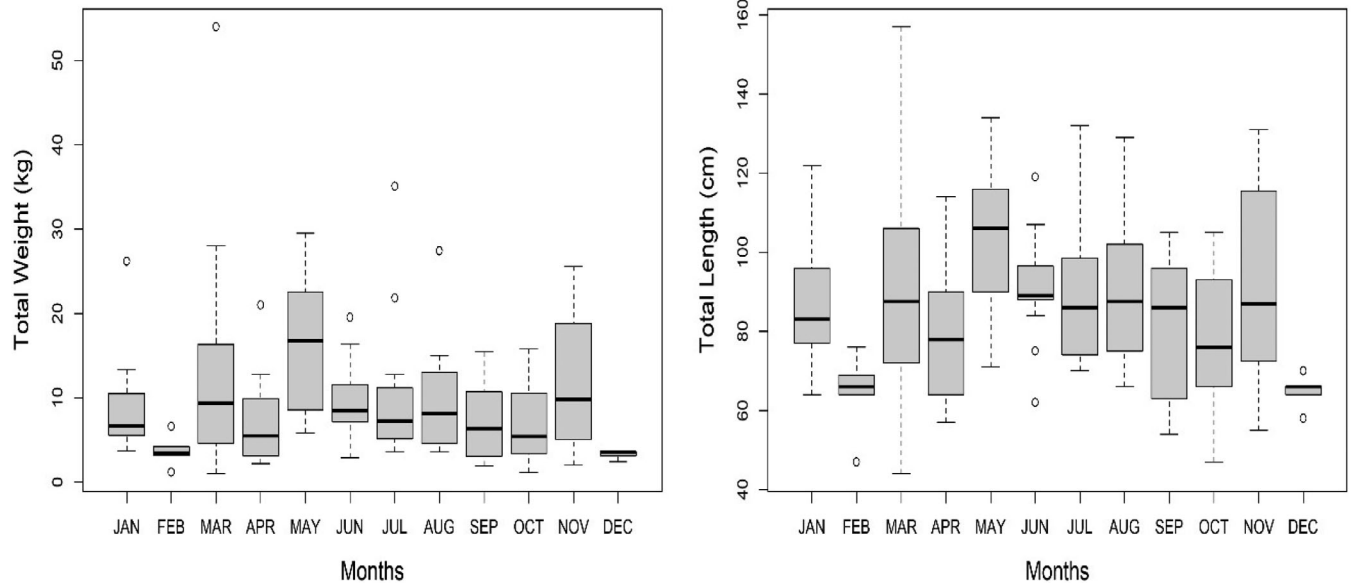
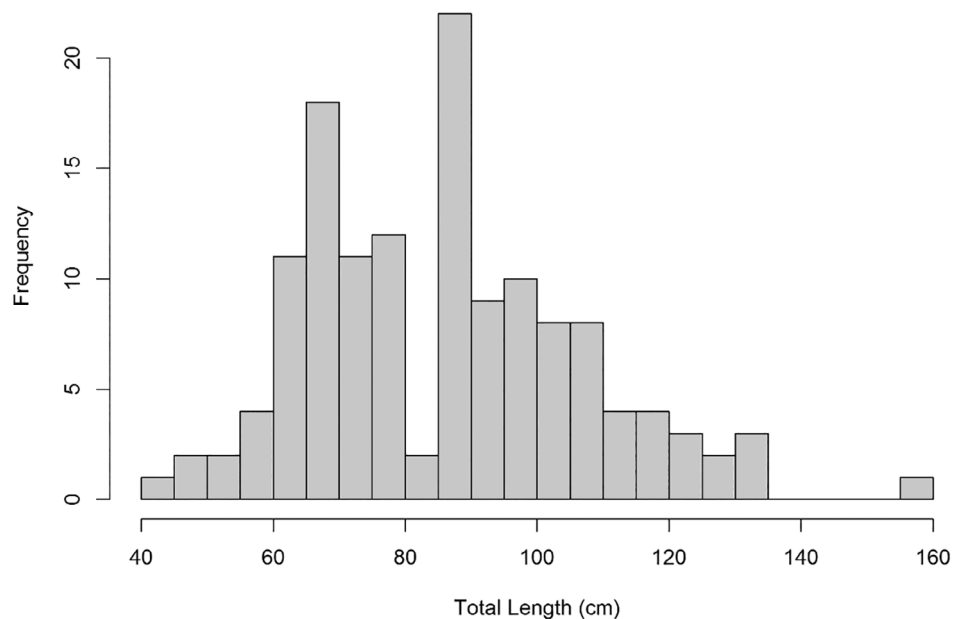


FIGURE 3 Otolith sectioned from a 71 cm long specimen of *Mycteroperca bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil, showing the standardized reading axis (nucleus – ventral region). N: nucleus

TABLE 1 Von Bertalanffy parameters available in the literature and *growth performance* for black grouper with grouped sexes

Researches	TL ∞ (cm)	K	t $_0$ (year)	ϕ'	Area
Crabtree and Bullock (1998)	130.6	0.169	-0.769	3.46	Florida
Rénan <i>et al.</i> (2013)	138.4	0.12	0.068	3.36	Golfo do México
Manooch and Mason (1987)	135.2	0.11	0.92	3.30	Southeast of United States
Present study	185.5	0.04	-4.75	3.14	Northeastern coast of Brazil
Present study (t $_0$ = 0)	141	0.11	0	3.34	Northeastern coast of Brazil

**FIGURE 4** Boxplot of the total weight and total length of *Mycteroperca bonaci* specimens sampled from May 2017 to March 2019 from the coast of Maranhão, Brazil**FIGURE 5** Frequency distribution by length classes of *Mycteroperca bonaci* specimens sampled from May 2017 to March 2019 from the coast of Maranhão

The monthly variation in the gonado-somatic index (GSI) covered all fish in the sample. The GSI was determined using the percentage ratio of gonad weight (GW) to fish body weight

(TW) subtracted from the fish GW given by the relation $GSI = [GW/(TW - GW)] * 100$ and was evaluated for the definition of spawning season (García-Díaz *et al.*, 1997) in conjunction with the

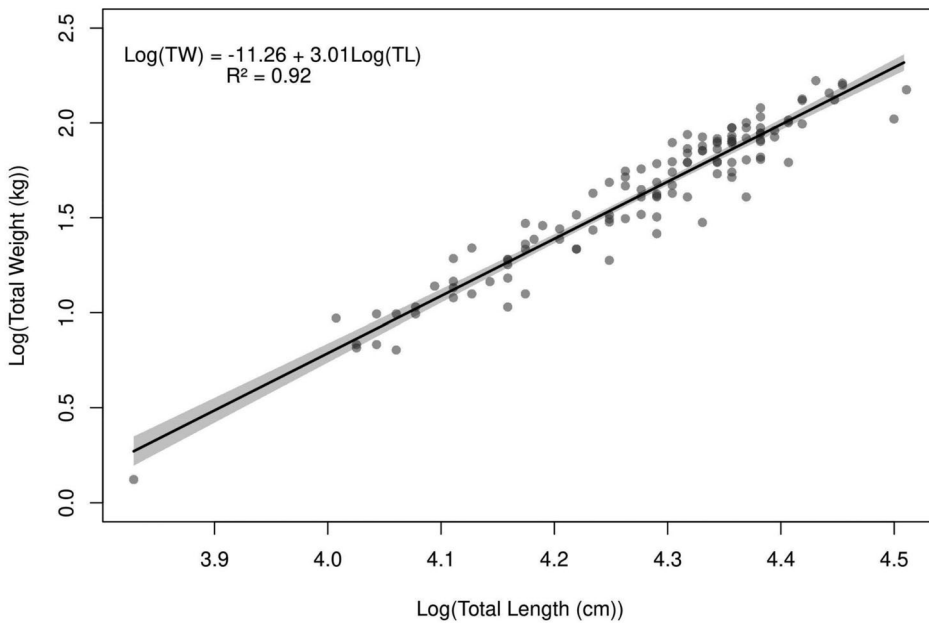


FIGURE 6 Length-weight relationship of black grouper *Mycteroperca bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil

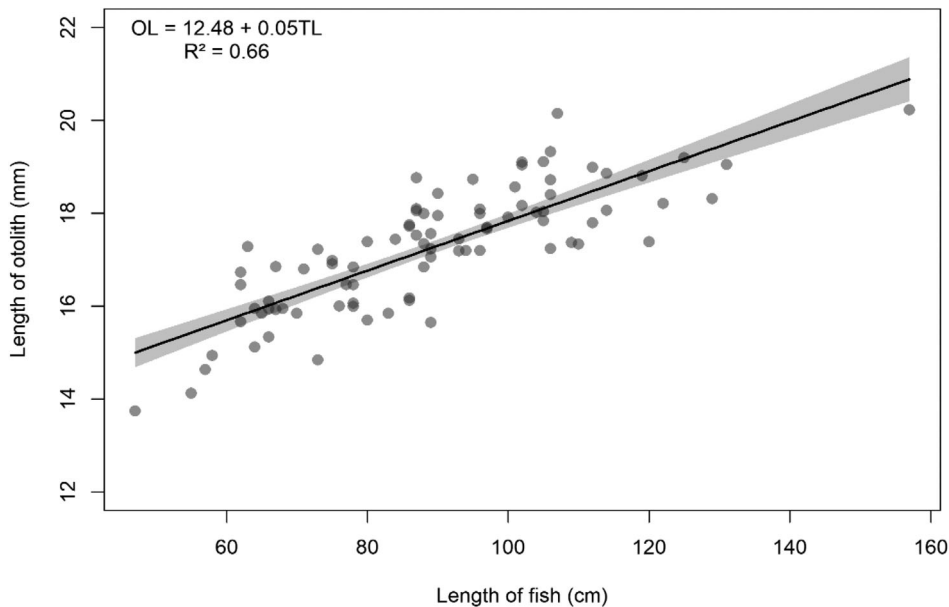


FIGURE 7 Relationship between total length of fish (cm) and length of otoliths (mm) of black grouper *Mycteroperca bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil

temporal variation in the frequency of the gonadal stages. The Kruskal-Wallis (K-W) test was used to determine monthly differences in GSI values. The Nemeyi test was considered a *post hoc* test. The significance level for all analyses was set at two-tailed $P < 0.05$. The A50 was calculated from the inverse equation of VBGF ($t(L) = t_0 - 1/k * \ln(1 - L/L_\infty)$).

2.2.3 | Mortality

The total mortality rate (Z) was estimated using the linearized catch curve method, and the estimated value of natural mortality (M) was calculated using the Pauly empirical formula (1990) $\text{Log } M = -0.0066 - 0.279 \text{ Log } L_\infty + 0.654 \text{ Log } k + 0.4534 \text{ Log } T$, where k is

the growth coefficient per year, L_∞ is the maximum asymptotic mean total length in centimetres, as well as the mean sea surface temperature (SST) (28.3°C). The annual average temperature in the Amazon coast of the Brazilian Northeast was calculated using the SST data for the fishing area obtained from the AQUA SENSOR MODIS satellite.

2.2.4 | Ethical statement

This research was not submitted to local or national permitting authority because the samples were obtained from animals caught in artisanal fisheries. At the time of sample removal, the animals were already dead.

FIGURE 8 Frequency distribution by length classes of *Mycteroperca bonaci* specimens with gonads sampled from May 2017 to March 2019 from the coast of Maranhão, Brazil

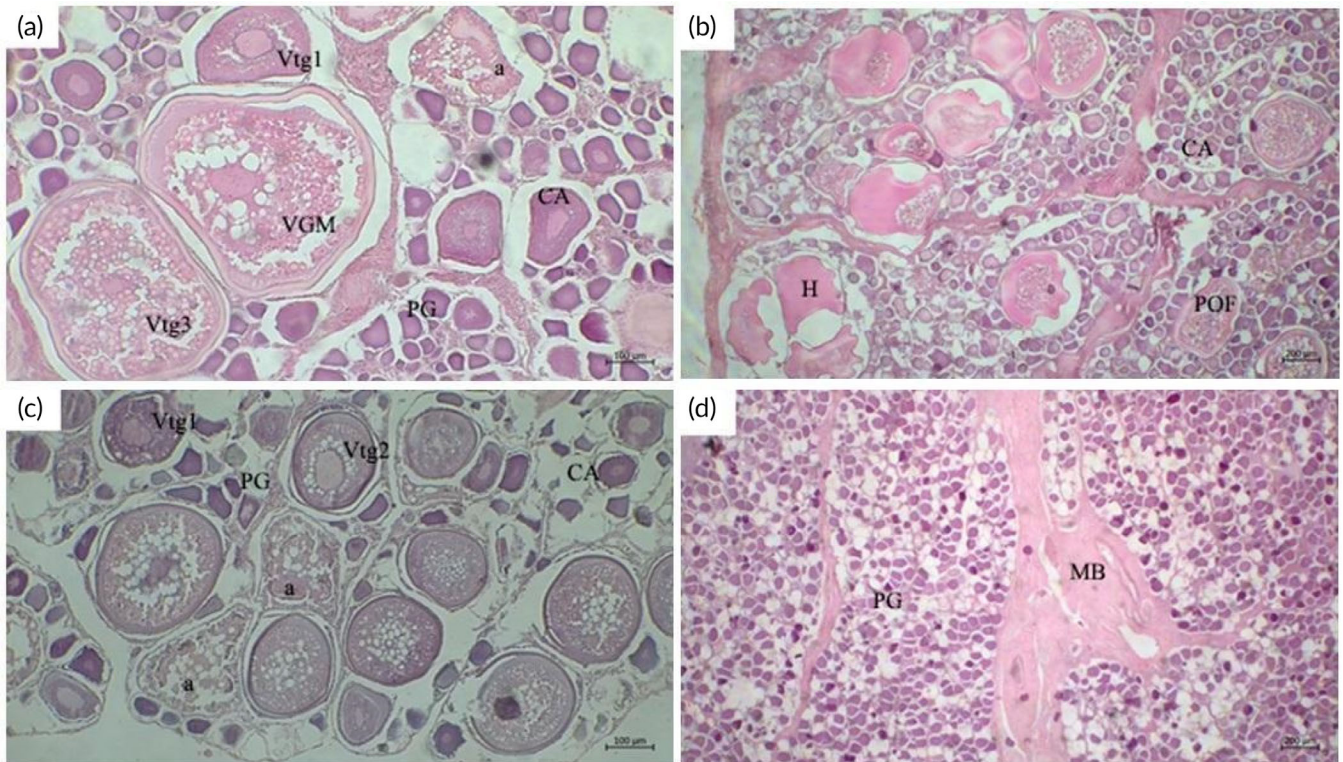
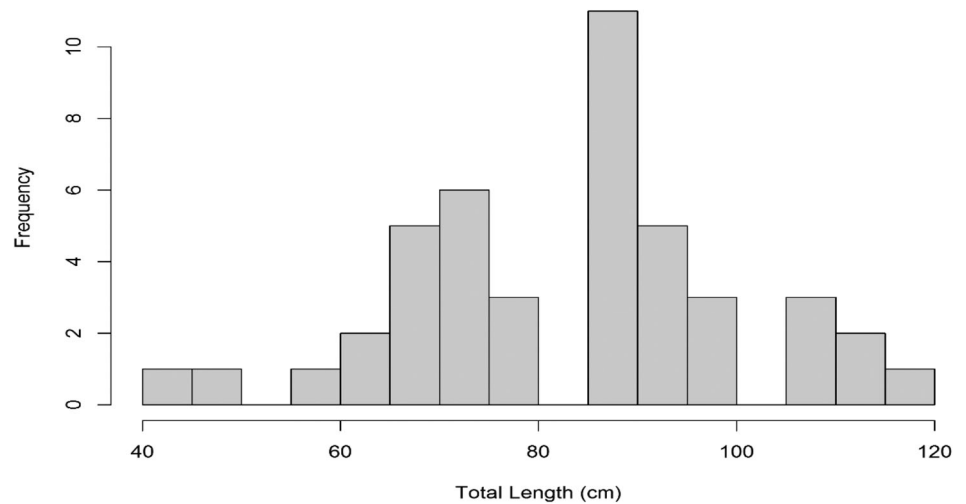


FIGURE 9 Photomicrographs of gonads of *Mycteroperca bonaci* sampled on the coast of Maranhão, Brazil. A: Female spawning capable, evidenced by the presence of oocytes with migration of germinal vesicle (VGM), vitellogenic oocytes stages (Vtg1 and Vtg3), primary growth (PG), cortical alveolar (CA) and atresia (a). B: Female classified as regressing, characterized by the presence of postovulatory follicles (POF), hydrated oocytes (H) and some CA. C: Female developing reproductive phase featuring atresia (a), PG, CA and Vtg1 and Vtg2 oocytes. D: Female regenerating phase exhibiting only PG and muscle bundles (MB)

3 | RESULTS

A total of 137 black grouper specimens from commercial landings of artisanal fisheries were sampled. Of these, 100 pairs of *sagittal* otoliths and 44 gonads were collected. The size and weight of the

specimens varied from 44 to 157 cm and from 0.976 to 54 kg (Figure 4). The length class mode was 85–90 cm, which corresponds to 16% of the captures (Figure 5).

The distribution was normal ($W = 0.9767$). A single individual of 157 cm was observed and aged 34 years representing the largest

reported individual in the sample. The linear length–weight relationship was expressed by this equation: $\log(TW) = -11.26 + 3.01\log(TL)$ (Figure 6), where TW and TL refer to total weight and total length, respectively. Student's *t*-test showed changes in body becoming more elongated ($b > 1$), t -value = 23.78, $df = 116$ and P -value < 0.0001.

The linear regression between fish length (TL) and otolith length was significant, where the parameters of the straight line obtained were $a = 12.48$, $b = 0.05$, F-statistic: 163.8, $df = 89$, $P = 2.2e^{-16}$, with a moderate correlation coefficient $r^2 = 0.6$ (Figure 7). A significant linear relationship between the age and weight of the otoliths was confirmed and is expressed by the following equation $\log(OW) = -3.50 + 0.74 \log(\text{Age})$, where OW refers to otolith weight. The correlation coefficient was $r^2 = 0.82$.

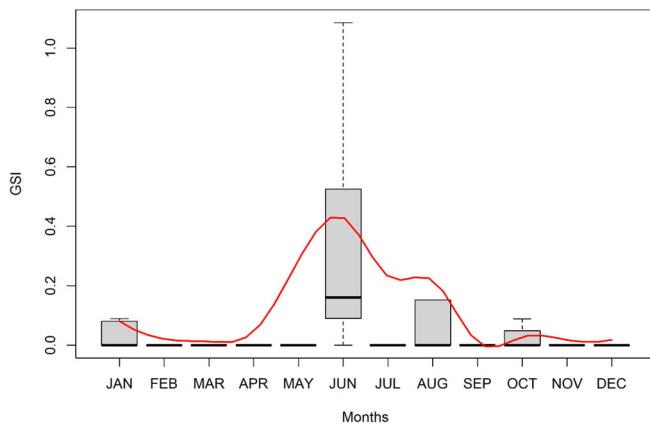


FIGURE 10 Monthly variation in the gonado-somatic index (GSI) analysis of the females of *Mycteroperca bonaci* during the period May 2017 to March 2019. Red line: polynomial fit, where there is a higher concentration of points

3.1 | Reproduction

Histologically sectioned gonads were obtained for 40 individuals (min and max sizes 58–119 cm, normality test confirmed by Shapiro–Wilk, $W = 0.980$, $P = 0.636$) (Figure 8). Only mature females were present in the samples, as confirmed by analysis of histological sections (Figure 9a–d).

During the entire sampling period (17 May to 19 March), the mean GSI presented by females was $\bar{x} = 0.44$. The largest GSI, accompanied by the spawning capable stage, was found in the months of June to August, indicating spawning peaks. Significant differences in GSI were identified ($K-W = 39.761$, $df = 11$, $P = 3.93e-05$). The month of June was responsible for the significant difference in GSI, where it differed from the months of March ($P = 0.044$), July ($P = 0.0462$), September ($P = 0.0046$) and November ($P = 0.0136$).

A single female with hydrated oocytes (85 cm–TL) and high GSI (2.5) presented in July (Figure 10). The months of September to May showed a predominance of the “regeneration” stage (75%), presenting only oogonia and primary growth (PG) oocytes. The developing stage (2.3%) was found in June, and the regressing stage (2.3%) was found in July (Figure 11). The largest female in the mature reproductive stage was 114 cm (TL) and in the spawned stage, and the smallest mature female was 58 cm (TL) and in the resting/regenerating stage. The A50 was 4.62 years (93 cm–TL).

3.2 | Age and growth

A total of 100 black grouper-sectioned otolith slides were analysed, with a size range of 44–157 cm TL and 88.11 ± 16.46 cm (mean \pm s.d.). The Shapiro–Wilk test confirmed the normality of the age estimates

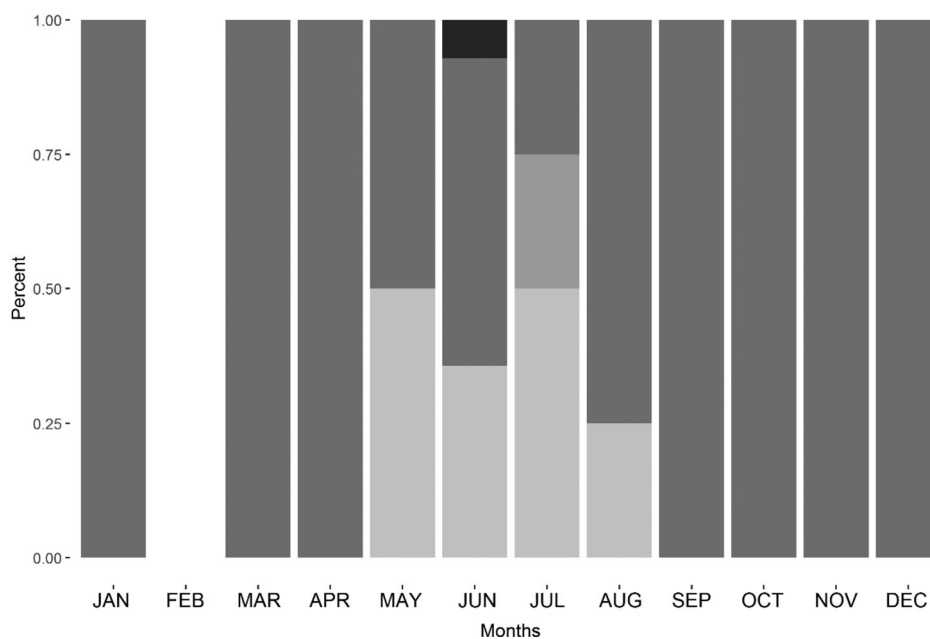


FIGURE 11 Relative frequency (%) of maturation stages for *Mycteroperca bonaci* females per month collected between May 2007 and March 2019 from Maranhão, Brazil. It was not possible to prepare a histological slide with the gonads collected in February. ■ Developing, ■ Regeneration, ■ Regressing, ■ Spawning

FIGURE 12 Von Bertalanffy growth curve with the parameter t_0 not fixed for black grouper *Mycteroperca bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil

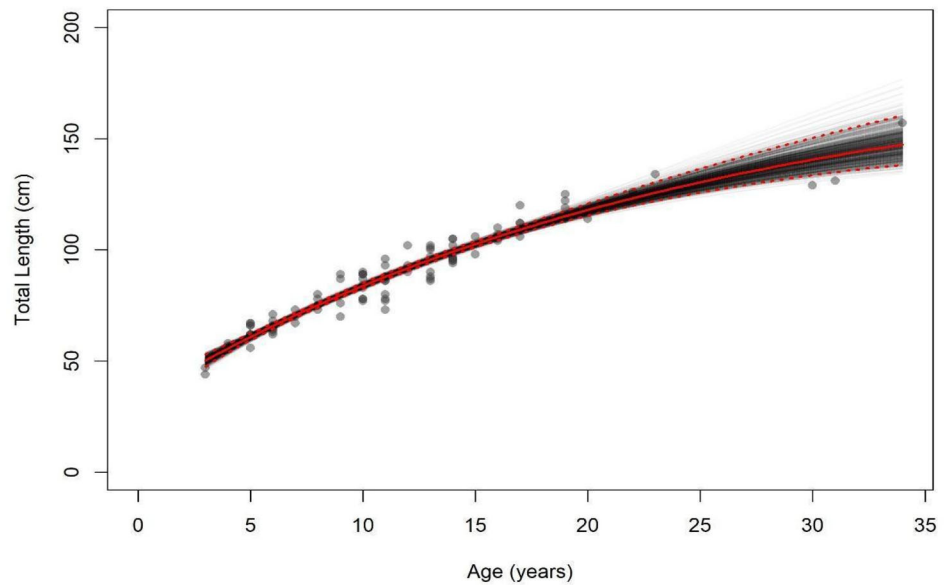
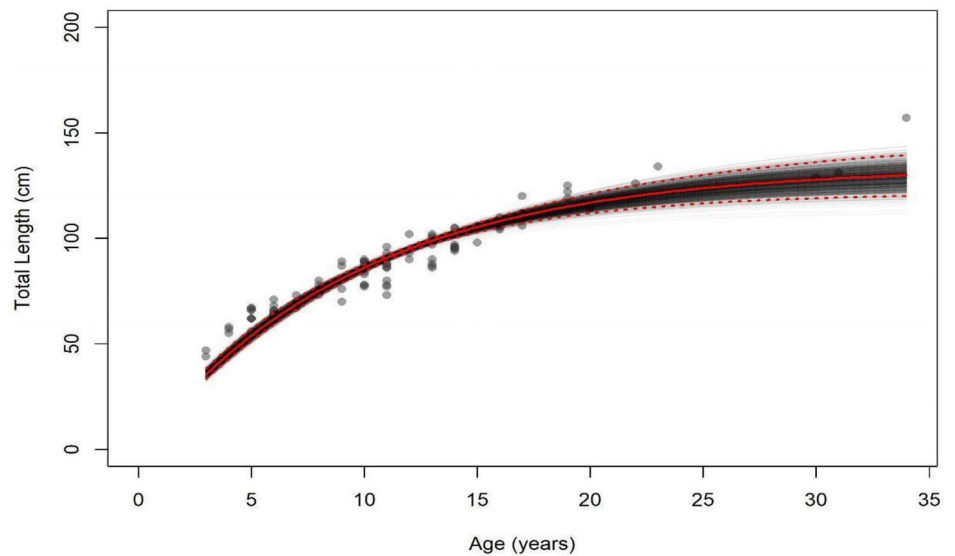


FIGURE 13 Von Bertalanffy growth curve with the parameter t_0 fixed at zero value for black grouper *Mycteroperca bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil



($W = 0.982$, $P = 0.211$). The readers diverged in 26% of the slides, where the greatest difference was only two rings, resulting in an IAPE of 1.1%. As the IAPE was not higher than 10%, reading 1 was considered equal to reading 2. The first reading ranged from 3 to 34 rings, and the second reading ranged from 3 to 33 rings. Because periodicity of ring formation was established by previous studies (Crabtree & Bullock, 1998; Rénan et al., 2013), it was also assumed that each ring corresponded to a year class.

The most represented year classes among the specimens were 10 and 11 years, representing 22% of the sample, in which the total length ranged from 70 to 96 cm. The oldest individuals in the sample measured 129, 131 and 157 cm of TL and were aged 30, 31 and 34 years, respectively. The youngest individuals ($n = 5$) in the sample measured between 44 and 58 cm TL and were aged 3–4 years.

The growth parameters for the Von Bertalanffy model were calculated, and growth curves were fitted with t_0 not fixed (Figure 12) and $t_0 = 0$ fixed (Figure 13). One thousand resamples were performed by the bootstrap method from the original data set of age and length to determine new growth parameters and obtain estimates of standard errors.

The parameters available in the literature for the black grouper captured in the Gulf of Mexico, Florida, and in the south-east U.S.A. were used to calculate the Φ' for the purpose of comparing the growth curves (Table 1).

3.3 | Mortality

The total mortality rate was $Z = 0.11 \text{ year}^{-1}$ (Figure 14), and the natural mortality was $M = 0.04 \text{ year}^{-1}$.

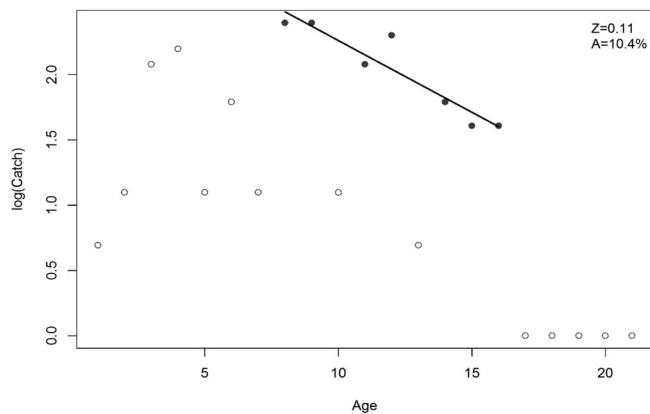


FIGURE 14 Catch curve based on observed age for black grouper *Mycteroperca bonaci* captured from May 2017 to March 2019 on the coast of Maranhão, Brazil. Ages 1–3 were excluded (outliers) because they were considered not fully recruited to the gear. A: annual survivorship; Z: total rate mortality. $F = 32.87$; $a = 3.48$; $b = -0.11$; $R^2 = 0.86$

4 | DISCUSSION

All previous studies reporting catches of *M. bonaci* are from landings observed along the East Brazil Shelf, from states of Ceará to Bahia (Lessa *et al.*, 2004; Teixeira *et al.*, 2004; REVIZZE, 2000; Revizee., 2006). Teixeira *et al.* (2004) compared size structures of black grouper from landings in the north and south areas along the north-east coast, east Brazil Large Marine Ecosystem (LME) and observed a significant difference, with smaller modal size (70 cm TL) and a distribution skewed to the left in the north area, contrasting with a larger modal size (90 cm TL) and normal distribution in the south. They concluded that although the fishery for *M. bonaci* in both areas showed similarities (e.g., catch depth between 50 and 120 m and vessel types and fishing equipment), the number of vessels in northern area is four times larger than the southern area, and thus that higher fishing levels in the north had led to a reduction in the individuals' size. Fishing with a hook and line and hookah spearfishing are size selective, and therefore removed the largest individuals from the population (Ricker, 1975), an effect that could also explain the low frequency of males in Teixeira *et al.* (2004) and their absence in the present study.

In the present study, however, although landings were monitored in Ports of Ceará, northern part of the east Brazil LME, catches were from fishing grounds off the coast of Maranhão, North Brazil Shelf LME. Signs of overexploitation were observed in the early 2000s (Teixeira *et al.*, 2004); therefore, it is believed that the fleet migrated further north in search of less exploited stocks.

Black grouper catches occurred throughout the inner and middle Maranhão continental shelf (isobaths of 40 and 60 m) encompassing Manoel Luís Marine State Park, as well as the slope (75 m) at depths of up to 180 m. The depth at the base of the continental slope is 2000 m (Castro *et al.*, 2018). The Parcel Manuel Luís is one of the largest coral reefs in South America, formed by hard bottoms (e.g., rocky, granite or diabase) and by a mobile biodetrital substratum (e.g., calcareous algae, corals, spicules and microorganisms), being almost totally submerged

(MMA, 2000; Palma, 1979). As a marine protected area, fishing within the limits of the park is prohibited; nonetheless, distance from the coast and poor enforcement hinder its effectiveness.

4.1 | Biological parameters

The relationship between the total weight and total length showed changes in fish condition with values similar to those of individuals in the southeastern U.S.A., $b = 3141$ (Manooch & Mason, 1987) and different from that found by Freitas *et al.* (2011) in waters of northeastern Brazil, in which the black grouper did not present changes in fish condition ($b = 2.98$). The variation among the growth patterns of this species in Brazilian waters probably occurred because of the size range between samples. In fish, the weight–length relationship, including juveniles and adults, may be affected by factors such as environmental conditions, gonadal maturity, sex, health condition, season, spatial, zonal and population variation (Froese, 2006; Macieira & Joyeux, 2009). In this study, no young/immature specimens were sampled, which influenced the recorded growth pattern. Furthermore, the changes in fish condition may also be related to the capture site of the specimen. Considering that the coast of Maranhão is characterized by mangroves, sandbars, sandy beaches, dunes and mainly estuaries (Moreira, 2000), it is worth noting that estuarine systems are the main suppliers of nutrients for other ecosystems on the continental shelf. Thus, the coefficient of allometry may also be associated with greater food availability (Ferraz & Giarrizzo, 2015).

Environmental factors also have a direct influence on the development of otoliths, such as growth (Mosegaard *et al.*, 1988). Nonetheless, weight is not directly affected by this factor and therefore becomes a good variable to estimate the age of fish (Cardinale *et al.*, 2004), with the same reliability of the sectioned otoliths counting rings (Green *et al.*, 2009b). The average weight of an otolith increases continuously with age. The linear relationship suggests that relatively consistent amounts of otolith material (95%–97% calcium carbonate) (Campana, 1999; Campana *et al.*, 1997) are added annually to the surface of the otolith (Craig *et al.*, 1997; Lou *et al.*, 2005; Newman, 2002). This relationship is confirmed in the current research (on the northeastern coast of Brazil; $r^2 = 0.83$), in the Gulf of Mexico ($r^2 = 69.80$; Rénan *et al.*, 2013) and in Florida waters ($r^2 = 0.95$; Crabtree & Bullock, 1998); both studies were performed with black grouper otoliths.

The proportional growth of the *sagittae* otoliths in relation to the increase in the age of the fish was also confirmed. Nonetheless, for other species of grouper (e.g., *Cephalopholis fulva*), there was asymmetry at a certain point in growth, where there was an inverse association between the growth of otolith *sagittae* and the TL of the fish as a result of ontogenetic changes (Araujo & Martins, 2006).

4.2 | Reproduction

Time patterns of spawning can be studied, analysed and confirmed, generating increasing knowledge about reproductive behaviours.

Nonetheless, the specifics of the time of each spawning have not yet been completely unveiled. It is believed that there is a direct influence of environmental variations (Sanchez *et al.*, 2017). This result confirms a single spawning peak for the black grouper between June and August, consistent with patterns observed in other studies. Thus, it suggests the same spawning period for the southwestern Atlantic. Studies conducted with past oceanographic data obtained *in situ* and modelled from the Maranhão shelf suggest that a reduction in SST occurs and that a band of colder water appears in June in the oceanic region adjacent to the continental shelf (Silva *et al.*, 2007), strong wind shear occurs from January to July (Geyer *et al.*, 1996; Silva, 2006) and fresh water contributes hundreds of kilometres in an open sea direction (Ffield, 2007; Hellweger & Gordon, 2002).

In Abrolhos, northeast Brazil, Freitas *et al.* (2018) observed that the spawning peaks of black grouper *M. bonaci* occurred after reduction in SST and air temperatures associated with a higher incidence of winds. This fact was also observed in the Cuban shelf for this species, with spawning peaking at the colder months of the year, between November and April. The GSI values for females were similar to those of studies in regional waters as in Teixeira *et al.* (2004) (GSI \bar{x} 1.4) and Freitas *et al.* (2018) (GSI \bar{x} 2.3), in the Gulf of Mexico according to Brulé *et al.* (2003) (GSI \bar{x} 2.2) and in Cuba by Garcia-Cagide & Garcia (1996) (GSI \bar{x} 2.89).

In the present study, samples were obtained from commercial landings of bottom line fisheries and because of its selectivity for larger fishes, the smallest sized individual sampled was a 44 cm female. This seems to be the pattern in most bottom-line fisheries for species of the snapper-grouper complex because of gear selectivity (Teixeira *et al.*, 2004), and thus the absence of immature individuals in the sample. Although the gear is expected to select larger and older individuals (Ricker, 1975), all sampled individuals were females, a pattern confirmed by histological analysis. The size of those females was mostly above the size at which this species initiates sex change in southwestern Atlantic, e.g., Teixeira *et al.*, 2004 (64 cm TL), Garcia-Cagide & Garcia, 1996 (65 cm TL) and Freitas *et al.*, 2011 (40 cm TL). The absence of male and individuals in sexual transition is therefore of concern, because it may suggest that fishing mortality is leading to their decline. Indeed, the vulnerability of larger and older protogynous hermaphrodites to fishing affects mainly male individuals, leading to lower reproductive potential (Shapiro, 1984).

Although it is possible that males are less susceptible than females to capture because of differential behaviour, the extirpation of larger individuals, where males would be better represented, is a well-described and expected consequence of fisheries pressure. For this reason, larger groupers are at higher risk of depletion and extinction throughout all their range of distribution (de Sadovy *et al.*, 2012).

4.3 | Age and growth

The first age and growth study for *M. bonaci* was conducted by Manooch and Mason (1987) in the Florida Keys. The study obtained a good sample size $n = 183$ and determined the age range between 1–

14 years. Consecutive surveys (Crabtree & Bullock, 1998; Rénan *et al.*, 2013) reached the age range of 2–27 years and 3–33 years, respectively, with a sample size of $n > 700$ individuals. Although the present research obtained a low sample size ($n = 100$) when compared to previous studies, it acquired a good distribution of length classes. It recorded an age range 3–34 years, representing the oldest age ever found for the species.

The comparison of the growth parameters for the black grouper population in northeastern Brazil shows that the lowest growth rate was estimated in this research which determines a high L_{∞} , as they are inversely proportional parameters. Another assumption about the high L_{∞} was that it may have been overestimated because of the high occurrence of large fish and/or the absence of smaller individuals in the study. Growth parameter estimates are known to be strongly associated with the presence and absence of individuals at the extremes of the curve (Campana, 2001). Therefore, to mitigate this effect the age and growth model was fitted by setting t_0 to zero. The growth parameters obtained here corroborate the characteristics pointed out by the literature, in which black grouper is a species with a long life cycle and slow growth. Similar data were found in the other three studies of age and growth for *M. bonaci*: Rénan *et al.* (2013); Crabtree and Bullock (1998) and Manooch and Mason (1987).

The growth rate (k) decreases with age (Volpedo & Vaz-Dos-Santos, 2015); thus, the older the specimen is, the smaller the ring spacing. This pattern was confirmed during the otolith age readings of black grouper. The older the age is, the more difficult it is to distinguish between the age rings. In addition, an entanglement of rings near the edge was observed, which made the readings more complex. Crabtree and Bullock (1998) also reported difficulty in older grouper as rings became more closely spaced.

4.4 | Mortality

Both mortality rates found $Z(0.10)$ and $M(0.04)$ were the lowest rates ever described for black groupers. Manooch and Mason (1987) calculated $Z(0.49)$ and $M(0.28)$. Other groupers, such *E. morio*, had rates of $Z(0.28)$ and $M(0.15)$ in South Florida (L. Lombardi-Carlson *et al.*, 2008). The low total mortality rate can be explained by the assumption that *M. bonaci* sampling comes from a newly exploited population, where the exploitation should be sustainable, coupled with the occurrence of large fish in the sample (Sparre & Venema, 1997).

Although the low natural mortality coefficient of the research corroborates Ursin's (1967) statement that small species have higher natural mortality than large species, the value found remains far below. Nonetheless, the low value of the natural mortality coefficient matches the analogy made by Ximenes-Carvalho *et al.* (2012), in which they investigated the existence of a direct relationship between growth rates and natural mortality because of the lower chance of predation in large species, which may grow slowly and reach larger sizes. Therefore, the majority of grouper shows slow growth and low natural mortality rates (de Sadovy *et al.*, 2012; Morato *et al.*, 2006; Wakefield *et al.*, 2013).

4.5 | Population status and conservation

In 2014, the Brazilian government established Ordinance No. 445 aimed at protecting and restoring fishing stocks that were under threat categories according to IUCN red list criteria, such as *M. bonaci*, considered as vulnerable (Icmbio, Instituto Chico Mendes DE Conservação DA Biodiversidade, 2014). A lengthy debate followed this decision, weakened by the lack of official landing statistics in the north-east and northern regions since 2008 (Gonçalves Neto et al., 2021), and of clear directives and enforcement, increasing uncertainties regarding the ordinance (Previero & Gasalla, 2018).

Currently, a new Inter-Ministerial Ordinance No. 59-C/2018 defines rules for the sustainable use and recovery of some fishing stocks under a recovery plan, including a fishing closure during the spawning season and minimum sizes of capture for the black grouper *M. bonaci* and two more species of groupers (*Mycteroperca interstitialis* and *E. morio*). Lack of enforcement and of fisheries statistics, however, continue to hinder those efforts.

The size structure of fish sampled in the presented study showed size ranges similar (44–135, with a single individual of 157 cm TL) to those in previous studies conducted in Brazil, as observed in Bahia State by Freitas et al. (2011) and Freitas et al. (2018) (24.2–99 cm; 26–147 cm, respectively) and Ceará to Alagoas states by Teixeira et al. (2004) (55–135 cm). Modal sizes at 84–93 cm, however, were among the largest, comparable only to the ones found by Teixeira et al. (2004) for the south northeastern area almost 20 years ago, and larger than modal sizes observed by Freitas et al. (2011) and Freitas et al. (2018) (50 cm; 50–59 cm).

In the North Tropical Atlantic, the largest size range found was in the Gulf of Mexico by Rénan et al., 2013 (25–160 cm), exceeding the range of this study, which also stands out in relation to data from Manooch and Mason (1987) (26–110 cm), Crabtree and Bullock (1998) (15.5–151.8 cm) and Brulé et al. (2003) (25.6–135 cm).

5 | CONCLUSION

The black grouper is a prime target for demersal line fisheries because of its high commercial value. Its life-history characteristics and aggregation behaviour make it susceptible to overfishing, particularly in the face of lack of adequate management. The present study represented the first study on age and growth of the species in the southwestern Atlantic. Moreover, this is the first one to report on fisheries occurring in the North Brazil Shelf, off Maranhão State. Although landings were monitored in Ports of Ceará, catches were from an area off the coast of Maranhão State, North Brazil Shelf LME, indicating that the fleet moved north, seeking less exploited stocks since the signs of overexploitation were already observed in the early 2000s (Teixeira et al., 2004). Nevertheless, samples from the fishing activity comprised only females. This indicates the need to closely manage this population to avoid collapses. Recovery plans that have been planned but not implemented for the species must be put into practice to avoid progressive decline as fisheries target more remote areas.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have no conflict of interest that could influence the research result.

ORCID

Isabela de Abreu Rodrigues Ponte  <https://orcid.org/0000-0002-7834-7130>

REFERENCES

- Araujo, D. E. J., & Martins, A. (2006). Age and growth of coney (*Cephalopholis fulva*) from the central coast of Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 86(1), 187–191. <https://doi.org/10.1017/S0025315406013026>.
- Baty, F., Ritz, C., Charles, S., Brutsche, M., Flandrois, J.-P., & Delignette-Muller, M.-L. (2015). A toolbox for nonlinear regression in R: The package nlstools. *Journal of Statistical Software*, 66(5), 1–21. <https://www.jstatsoft.org/article/view/v066i05>, <https://doi.org/10.18637/jss.v066.i05>.
- Beamish, R. J., & Fournier, D. A. (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 38, 982–983.
- Begossi, A., & Figueiredo, J. L. (1995). Ethnoichthyology of southern coastal fishermen: Cases from buzios island and sepetiba bay (Brazil). *Bulletin of Marine Science*, 56(2), 710–717.
- Bender, M. G., Machado, G. R., Pjda, S., Floeter, S. R., Monteiro-Netto, C., et al. (2014). Local ecological knowledge and scientific data reveal overexploitation by multigear artisanal fisheries in the southwestern Atlantic. *PLoS One*, 9(10), e110332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110332>.
- Beverton, R. J. H., & Holt, S. J. (1956). A review of methods for estimating mortality rates in exploited fish populations, with special reference to sources of bias in catch sampling. *Rapp. P. -v. Reün. Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, 140, 67–83.
- Brown-Peterson, N. J., Wyanskib, D. M., Saborido-Reyc, F., Macewicz, B. J., & Lowerre-Barbierie, S. K. (2011). A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 3, 52–70. C. American Fisheries Society 2011. Issn: 1942-5120 online. <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.555724>.
- Brulé, T., Renán, X., Colás-Marrufo, T., Hauyon, Y., Tuz-Sulub, A., & Déniel, C. (2003). Reproduction in the protogynous grouper *Mycteroperca bonaci* (Poey) from the southern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 101, 463–475.
- Burgos, J. M., Sedberry, G. R., Wyanski, D. M., & Harris, P. J. (2007). Life history of red grouper (*Epinephelus morio*) off the coasts of North Carolina and South Carolina. *Bulletin of Marine Arine Science*, 80, 45–65.
- Carvalho, M. O. X., Fonteles Filho, A. A., & Paiva, M. P. (2012). *Idade e crescimento da garoupa-verdadeira, Epinephelus marginatus (Lowe, 1834) (Pisces: Epinephelidae), no Sudeste do Brasil*, Vol. 45, pp. 5–16. Arquivos de Ciências do Mar. Fortaleza.
- Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: Pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 263–297.
- Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59(2), 197–242.
- Campana, S. E., Thorrold, S. R., Jones, C. M., Günther, D., Tubrett, M., Longrich, H., ... Campbell, J. L. (1997). Comparison of accuracy, precision, and sensitivity in elemental assays of fish otoliths using the electron microprobe, proton-induced X-ray emission, and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(9), 2068–2079.
- Cardinale, M., Doering-Arjes, P., Kastowsky, M., & Mosegaard, H. (2004). Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age

- Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61, 158–167.
- Castro, A. L. C., Eschrique, S. A., Silveira, P. C. A., Azevedo, J. W. J., Ferreira, H. R. S., Soares, L. S., ... Silva, M. H. L. (2018). Physicochemical properties and distribution of nutrients on the inner continental shelf adjacent to the Gulf of Maranhão (Brazil) in the equatorial Atlantic. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(4), 4829–4847.
- CBD - Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2014). *Ecologically or Biologically Significant Marine Areas (EBSAs): Special Places in the World's Oceans*. Vol. 2, pp. 86. Wider Caribbean and Western Mid-Atlantic Region.
- Choat, J. H., Kritzer, J. P., & Ackerman, J. L. (2009). Ageing in coral reef fishes: Do we need to validate the periodicity of increment formation for every species of fish for which we collect age-based demographic data? In B. S. Green, D. B. Mapstone, G. Carlos, & G. A. Begg (Eds.), *Tropical fish otoliths: Information for assessment, management and ecology. Reviews: methods and technologies in fish biology and fisheries* 11 (pp. 23–54). Berlin: Springer Science + Business Media B.V.
- Costa, P., Braga, A., & Rocha, L. (2003). Reef fisheries in Porto Seguro, eastern Brazilian coast. *Fisheries Research*, 60, 577–583. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(02\)00145-5](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(02)00145-5).
- Crabtree, R. E., & Bullock, L. H. (1998). Age, growth, and reproduction of black grouper, *Mycteroperca bonaci*, in Florida waters. *Fishery Bulletin*, 96, 735–753.
- Craig, M. T., Sadovy DE Mitcheson, Y. J., & Heemstra, P. C. (2011). *Groupers of the world: A field and market guide*. Grahamstown, South Africa: Nisc (Pty) Ltd.
- Craig, P. C., Choat, J. H., Axe, L. M., & Saucerman, S. (1997). Population biology and harvest of the coral reef surgeonfish *Acanthurus lineatus* in American Samoa. *Fish Bull*, 95, 680–693.
- Eklund, A. M. & Schull, J. (2001). A Stepwise Approach to investigating the movement patterns and habitat utilization of goliath grouper, *Epinephelus itajara*, using conventional tagging, acoustic telemetry and satellite tracking. In *Electronic Tagging and Tracking in Marine Fisheries* Vol. 1. (Sibert, J. R., & Nielsen, J. L., eds.), pp. 189–216. Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1402-0_9.
- Ferraz, D., & Giarrizzo, T. (2015). Weight-length and length-length relationships for 37 demersal fish species from the Marapanim River, northeastern coast of Pará state, Brazil. *Biota Amazônia*, 5(3), 78–82.
- Ferreira, B. P., & Russ, G. R. (1994). Age validation and estimation of growth rate of the coral trout, *Plectropomus leopardus*, (Lacepede 1802) from Lizard Island, Northern great barrier reef. *Fish Bull*, 92, 46–57.
- Ffield, A. (2007). Amazon and Orinoco River plumes and Nbc rings: Bystanders or participants in hurricane events? *Journal of Climate*, 20, 316–333.
- Freire, K. M. F., Almeida, Z. S., Amador, J. R. E. T., Aragão, J. A., Araújo, A. R. R., Ávila-da-Silva, A. O., ... Vianna, M. (2021). Reconstruction of marine commercial landings for the Brazilian industrial and artisanal fisheries from 1950 to 2015. *Frontiers in Marine Science*, 8, 659110. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.659110>.
- Freitas, M. O., Leão DE Moura, R., Francini-Filho, R. B., & Minte-Vera, C. V. (2011). Spawning patterns of commercially important reef fish (Lutjanidae and Serranidae) in the tropical western South Atlantic. *Scientia Marina*, 75(1), 135–146, Barcelona (Spain) Issn: 0214-8358. <https://doi.org/10.3989/scimar.2011.75n1135>.
- Freitas, M. O., Previero, M., Minte-Vera, C. V., Spach, H. L., Francini-Filho, R. B., Leão, D. E., & Moura, R. (2018). Reproductive biology and management of two commercially important groupers in the Swatlantic. *Environmental Biology of Fishes*, 101, 79–94. <https://doi.org/10.1007/s10641-017-0682-2>.
- Freitas, M. O. (2014). *Autoecologia de Epinephelus morio e Mycteroperca bonaci: Epinefelideos comercialmente importantes e ameaçados no branco de Abrolhos*. Tese Universidade Federal do Paraná.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 241–253.
- García-Cagide, A., & García, T. (1996). Reproducción de *Mycteroperca bonaci* y *Mycteroperca venenosa* (Pisces: Serranidae) en la plataforma cubana. *Revista de Biología Tropical*, 44(2), 771–780.
- García-Díaz, M. M., Tuset, V. M., González, J. A., & Socorro, J. (1997). Sex and reproductive aspects in *Serranus cabrilla* (Osteichthyes: Serranidae): Macroscopic and histological approaches. *Marine Biology*, 127, 379–386.
- Gerhardinger, L. C., Marenzi, R. C., Silva, M. H., & Medeiros, R. P. (2007). Conhecimento ecológico local de pescadores da Baía Babitonga, Santa Catarina, Brasil: peixes da família Serranidae e alterações no ambiente marinho. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 28(3), 253–261 <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v28i3.226>.
- Geyer, W. R., Beardsley, R. C., Lentz, S. J., Candela, J., Limeburner, R., Johns, W. E., ... Soares, I. D. (1996). Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, 16, 575–616.
- Giglio, V.J.; Bertoncini, A.A.; Ferreira, B.P.; M. Hostim-Silva, M.O. Freitas. 2014. Landings of goliath grouper, *Epinephelus itajara*, in Brazil: Despite prohibited over ten years, fishing continues. *Nat. Conserv.*
- Gonçalves Neto, J., Goyanna, F., Feitosa, C. V., & Soares, M. (2021). A sleeping giant: the historically neglected Brazilian fishing sector. *Ocean & Coastal Management*, 209, 105699. <https://doi.org/10.1016/J.Ocecoaman.2021.105699>.
- Green, B. S., Mapstone, B. D., Gary, C., & Begg, G. A. (2009a). Introduction to otoliths and fisheries in the tropics. In B. S. Green, B. D. Mapstone, C. Gary, & G. A. Begg (Eds.), *Tropical fish otoliths: Information for assessment, management and ecology* (pp. 1–22). New York: Springer.
- Green, Bridget & Mapstone, Bruce & Carlos, Gary & Begg, Gavin. 2009b. *Tropical fish otoliths: Information for assessment, Management and Ecology*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5775-5>.
- Haimovici, M., Cergolem, M., Lessa, R., Madureira, L., & Wongtschowski, C. (2006). *Panorama Nacional*. In *Book: Avaliação Do Potencial Sustentável Dos Recursos Vivos Na Zona Econômica Exclusiva Do Brasil - Programa Revizee, Relatório Executivo*, pp. 79–125, 1st edn.
- Heemstra, P. C., & Randall, J. E. (1993). *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*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hellweger, F. L., & Gordon, A. L. (2002). Tracing Amazon River. Water into the Caribbean Sea. *Journal of Marine Research*, 60, 537–549.
- Hoedt, F. E. (1992). Validation of daily growth increments in otoliths from *Thryssa aestuaria* (Ogilby), a tropical anchovy from northern Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 43, 1043–1050.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). (1999a). *Boletim estatístico da pesca marítima do estado do Rio Grande do Norte - 1998*. Tamararé: Cepene.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). (1999b). *Boletim estatístico da pesca marítima do estado de Pernambuco - 1998*. Tamararé: Cepene.
- Icmbio, Instituto Chico Mendes DE Conservação DA Biodiversidade. 2014. *Portaria 445, de 17 de dezembro de 2014*. Diário oficial da União, Seção 1. ISSN 1677-7042.
- Icmbio, Instituto Chico Mendes DE Conservação DA Biodiversidade. 2018. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*. Volume VI - Peixes. Ed Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, 7v.:il.
- Kjerfve, B., Perillo, G. M. E., Gardner, L. R., Rine, J. M., Dias, G. T. M., & Mochel, F. R. (2002). Chapter twenty morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. In *Proceedings in Marine Science*, Vol. 4 (Terry, H., Ying, W., Judy-Ann, H., eds), pp. 479–532. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1568-2692\(02\)80094-8](https://doi.org/10.1016/S1568-2692(02)80094-8).
- Lessa, R. P.; Nóbrega, M. F.; Araujo, B. A. M., Bezerra Junior, J. L., 2004. Dinâmica das frotas pesqueiras do Nordeste do Brasil. Programa de

- Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (Revizee), Subcomitê Regional Nordeste (Scorene). Relatório Síntese. Recife. 106 p
- Lombardi-Carlson, L., Fitzhugh, G., Palmer, C., Gardner, C., Farsky, R., & Ortiz, M. (2008). Regional size, age and growth differences of red grouper (*Epinephelus morio*) along the west coast of Florida. *Fisheries Research*, 91, 239–251. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.12.001>.
- Lou, D. C., Mapstone, B. D., Russ, G. R., Davies, C. R., & Begg, G. A. (2005). Using otolith weight–age relationships to predict age based metrics of coral reef fish populations at different spatial scales. *Fisheries Research*, 71, 279–294.
- Macieira, R. M., & Joyeux, J. C. (2009). Length-weight relationships for rockpool fishes in Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(3), 358–359. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01118.x>.
- Manooch, C. S., I., & Mason, D. L. (1987). Age and growth of the Warsaw grouper and black grouper from the southeast region of the United States. *Northeast Gulf Science*, 9, 65–75.
- Marques, S., & Ferreira, B. P. (2016). Age and growth of the mutton hamlet *Alphesthes afer*, with a review of the size and age of sex change among epinephelids. *Journal of Fish Biology*, 89, 1–17.
- Marques, S., & Ferreira, B. P. (2018). Sexual development and demography of the rock hind *Epinephelus adscensionis*, a protogynous grouper, in the south-west Atlantic. *Marine and Freshwater Research*, 69(2), 300. <https://doi.org/10.1071/mf1701610.1071/mf17016>.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2000). Planejamento para Conservação de Áreas.
- Morato, T., Watson, R., Pitcher, T. J., & Pauly, D. (2006). Fishing down the deep. *Fish and Fisheries*, 7 (pg, 24–34.
- Moreira, I. (2000). O Espaço Geográfico: 488p. SUDENE, 1977. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste, Folha nº São Luís SE. Série Brasil. Sudene. Hidrogeologia, 51. Ministério do Interior. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Divisão de Recursos Minerais. Recife, PE. 135 p.
- Mosegaard, H., Svedang, H., & Taberman, K. (1988). Uncoupling of somatic and otolith growth rates in arctic char (*Salvelinus alpinus*) as an effect of differences in temperature response. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45, 1514–1524.
- Moureaux, J., Bambino, C., & Pauly, D. (1986). Indices of overall growth performance of 100 tilapia (*Cichlidae*) population. In J. L. Maclean, L. B. Dizon, & L. V. Hosillos (Eds.), *The first Asian fisheries Forum* (pp. 201–206). Manila Philippines: Asian Fisheries Society.
- Newman, S. J. (2002). Growth rate, age determination, natural mortality and production potential of the scarlet seaperch, *Lutjanus malabaricus* Schneider 1801, off the Pilbara coast of northwestern Australia. *Fisheries Research*, 58, 215–225.
- Nóbrega, M. F., Lessa, R., & Santana, F. M. (2009). *Peixes marinhos da Região Nordeste do Brasil – Programa Revizee – Score Nordeste (Volume 6)*. Fortaleza: Editora Martins & Cordeiro.
- Padovani-Ferreira, B., Bertoncini, A.A., Pollard, D.A., Erisman, B., Sosa-Cordero, E., Rocha, L.A., Aguilar-Perera, A. & Brule, T. 2018. *Mycteroperca bonaci*. The Iucn Red List of Threatened Species 2018: e. T132724A46916253.
- Paiva, M. P., & Andrade-Tubino, M. F. (1998). Distribuição e abundância de peixes bentônicos explotados pelos lineiros ao largo do sudeste do Brasil (1986–1995). *Revista Brasileira de Biologia*, 58(4), 619–632. <https://doi.org/10.1590/S0034-71081998000400009>.
- Palma, J. J. C. (1979). Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira. *Série Projeto Remac*, 7, 25–51.
- Parrish, J. K. (2005). Behavioral approaches to marine conservation. In *Norse e Crowder* (pp. 80–104). Washington: Marine Conservation Biology.
- Previero, M., & Gasalla, M. A. (2018). Mapping fishing grounds, resource and fleet patterns to enhance management units in data-poor fisheries: The case of snappers and groupers in the Abrolhos Bank coral-reefs (South Atlantic). *Ocean and Coastal Management*, 154, 83–95.
- Rénan, X; Seca-Chablé, E and Brulé, T. 2013. Age and Growth of *Mycteroperca bonaci* from Southern Gulf of Mexico. Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute November 5 – 9, 2012 Santa Marta, Colombia.
- Reñones, O., Piñeiro, C., & Goni, R. (2007). Age and growth of the dusky grouper *Epinephelus niveatus* (Lowe, 1834) in an exploited population of the western Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology*, 71, 346–362.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of Fisheries Research Bd Can.*, 191, 1–382.
- Sadovy de Mitcheson, Y., Craig, M. T., Bertoncini, A. A., Carpenter, K. E., Cheung, W. W. L., Choat, J. H., ... Sanciangco, J. (2012). Fishing groupers towards extinction: A global assessment of threats and extinction risks in a billion-dollar fishery. *Fish and Fisheries*, 14, 119–136.
- Sanchez, P., J., Appeldoorn, R. S., Schärer-Umpierre, M. T., & Locascio, J. V. (2017). Patterns of courtship acoustics and geophysical features at spawning sites of black grouper (*Mycteroperca bonaci*). *Fishery Bulletin*, 115(2), 186–195. <https://doi.org/10.7755/FB.115.2.5>.
- Shapiro, D. Y. (1984). Sex reversal and sociodemographic process in coral reef fishes. In: *Fish Reproduction: Strategies and Tactics*. (Poots, G. W. & R. J. Wootton eds.), pp. 103–118. Orlando: Academic Press.
- Silva, A. C. (2006). *An analysis of water properties in the western tropical Atlantic using observed data and numerical model results* (p. 156). Tese de doutorado, Departamento de Oceanografia, Ufpe, Recife/PE. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/8558>.
- Silva, A.C; Araujo, M.; Pinheiro, L.S. 2007. Caracterização hidrográfica da plataforma continental do maranhão a partir de dados oceanográficos medidos, remotos e modelados. *Revista Brasileira de Geofísica*. vol.25 no.3. São Paulo. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2007000300005>.
- Sparre, P.; Venema, S.C. 1997. Introdução à avaliação de mananciais de peixes tropicais. Parte I: Manual. *Fao Documento Técnico sobre as Pescas*. No. 306/1, Rev.2. Roma, Fao. 1997. 404p.
- Teixeira, S. F., Ferreira, B. P., & Padovan, I. P. (2004). Aspects of fishing and reproduction of the black grouper *Mycteroperca bonaci* (Poey, 1860) (Serranidae: Epinephelinae) in the northeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*. V, 2(1), 19–30.
- Ursin, E. (1967). A mathematical model of some aspects of fish growth, respiration, and mortality. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1967, 24(11), 2355–2453. [10.1139/f67-190](https://doi.org/10.1139/f67-190).
- Vazzoler, A.E.A. DE M. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleosteos: teoria e prática*. Eduem; São Paulo: Sbi.
- Volpedo, A.V, Vaz-Dos-Santos, A.M. 2015. Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones/Métodos de estudios com otólitos: princípios e aplicações –1a ed. edición bilingue. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Isbn 978-987-33-8884-2
- Wakefield, C. B., Newman, S. J., Marriott, R. J., Boddington, D. K., & Fairclough, D. V. (2013). Contrasting life history characteristics of the eightbar grouper, *Hyporthodus octofasciatus* (Pisces: Epinephelidae), over a large latitudinal range reveals spawning omission at higher latitudes. *ICES Journal of Marine Science*, 70, 485–497.

How to cite this article: de Abreu Rodrigues Ponte, I., de Vasconcelos Filho, J. E., Feitosa, C. V., & Ferreira, B. P. (2022). Demography of the black grouper, *Mycteroperca bonaci* (Poey, 1860) (Teleostei: Epinephelidae) from the North Brazil Shelf. *Journal of Fish Biology*, 1–14. <https://doi.org/10.1111/jfb.15085>

5. CAPÍTULO 2 – Idade, Crescimento e Reprodução da Garoupa Vermelha, *Epinephelus Morio* (Valenciennes, 1828) da Plataforma do Norte do Brasil

Este capítulo será submetido, após considerações da banca, à revista **Journal of Fish Biology**.

IDADE E CRESCIMENTO E REPRODUÇÃO DA GAROUPA VERMELHA, *Epinephelus Morio* (VALENCIENNES, 1828) NA PLATAFORMA DO NORTE DO BRASIL

1. INTRODUÇÃO

A garoupa vermelha, *Epinephelus morio* (Valenciennes, 1828), é uma importante espécie comercial no Brasil que se distribui desde o Sudeste até o Norte do país, tendo mais destaque no Nordeste do Brasil por ser uma espécie altamente valorizada no mercado e visada pela pesca de pequena escala (Begossi e Richerson, 1992; Begossi et al., 2019; Nóbrega et al., 2009). Tem preferência por substrato consolidado ocorrendo associada a recifes em profundidades de 5 e 130 m. Geralmente são capturadas por espinhel de fundo e linha por frotas pesqueiras artesanais (Lessa e Nóbrega, 2000).

A presente pesquisa apresenta dados biológicos de indivíduos capturados na plataforma externa do Norte do Brasil, região que apresenta carência de estudos tanto de exploração pesqueira, como sobre os aspectos ecológicos e biológicos das garoupas (Ponte et al., 2021). O litoral do Estado do Maranhão ou ecorregião amazônica é a principal região de captura de garoupas vermelhas do norte do país. No Brasil há apenas dois estudos sobre biologia reprodutiva da garoupa vermelha para o oeste do Atlântico sul, no banco de Abrolhos, Bahia/NE do Brasil por Freitas et al., (2011) e no sul da Bahia e norte do Espírito Santo (Banco de Abrolhos) em Freitas et al., (2018), portanto os dados aqui apresentados são inéditos.

Estudos realizados do hemisfério norte mencionam que a espécie possui características inerentes às garoupas em geral, como taxas de crescimento lentas, maturidade tardia e agregações sazonais de desova, o que as tornam mais susceptíveis a colapsos populacionais, principalmente se submetidos a pescaria sem manejo (Claro e Lindeman, 2003; Sadovy de Mitcheson et al., 2012). Recentemente, a International Union for Conservation of Nature (IUCN) avaliou o risco de *E. morio* em toda a sua área de distribuição e a classificou na categoria Vulnerável (VU), sendo a sobrepesca a maior ameaça (Brulé et al., 2018).

O governo brasileiro determinado a proteger e restaurar os estoques pesqueiros que estavam sob categorias de ameaça, de acordo com a IUCN red list, deliberou por meio da Portaria Interministerial nº 59-C/2018 um plano para promover o uso sustentável destas espécies com regras de manejo pesqueiro. Tal documento abordou espécies de garoupas, como a *E. morio*. Porém, ainda há falta de fiscalização nos desembarques pesqueiros e investimento às pesquisas no Brasil (Ponte et al, 2021).

O presente estudo obteve as amostras da garoupa vermelha oriunda de explorações comerciais realizadas antes das medidas de manejo serem estabelecidas pelo governo federal, dito isso, o objetivo desta pesquisa foi determinar os parâmetros populacionais de *E. morio* abrangendo o crescimento, reprodução e mortalidade da espécie para uma parte importante de sua distribuição, a região norte da plataforma brasileira. Para tanto, foram estabelecidos dados sobre parâmetros de crescimento, estrutura etária e de comprimento, idade de maturidade, tamanho, transição sexual, composição sexual e mortalidade natural e total apostando na contribuição ao incentivo científico, ao apoio a resoluções de conflitos com a pesca e à geração de literatura nacional e regional para que seja possível gerar medidas e práticas de planejamento específicas que garantam a exploração sustentável desse recurso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostragem

As amostras da garoupa vermelha *Epinephelus morio* foram obtidas no mercado dos peixes, situado na praia do Mucuripe, em Fortaleza, Ceará, nordeste do Brasil, entretanto, os exemplares foram capturados pela frota artesanal do Estado do Maranhão que opera em pesqueiros situados em águas costeiras e no talude. Essa frota é composta por barcos de madeira motorizados que operam com linha e espinhel. O Maranhão tem águas produtivas uma vez que sua vasta plataforma continental é influenciada por rios volumosos/de grande porte (Kjerfve et al., 2002). Nesta região, os pontos de pesca estão situados na região estuarina, ilhas, parque estadual marinho, localizados na plataforma interna e média, bem como no talude. O parque estadual marinho Parcel Manuel Luiz está situado a 86 km da costa e engloba uma ampla área recifal; tem relevante importância ecológica e biológica (CDB, 2014).

Após a captura no Maranhão, os exemplares são desembarcados em Camocim, importante polo pesqueiro, situado a 357km da capital do Estado (Fortaleza). Nesta região são acondicionados em caminhões refrigerados e transportados até Fortaleza para a comercialização no mercado dos peixes (Figura 1).

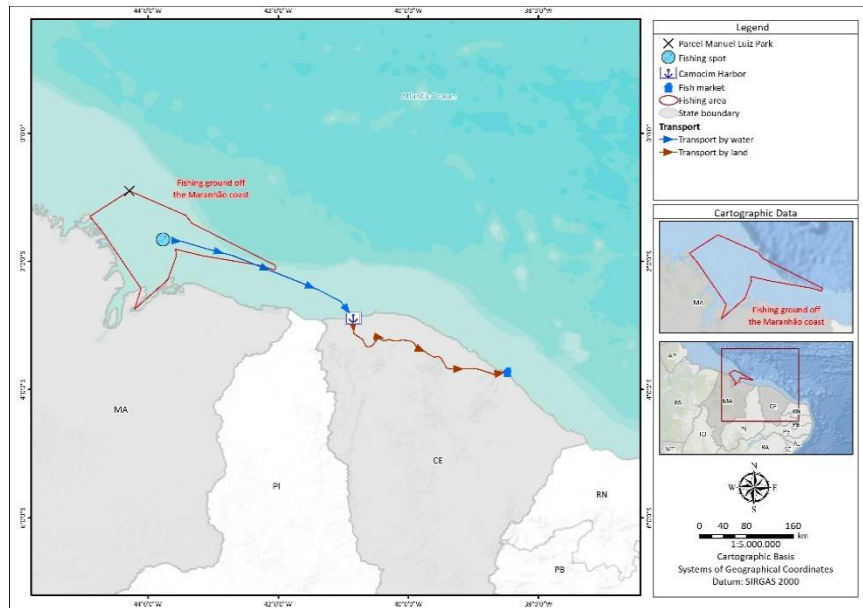


Figura 1: Mapa da região de pesca com destaque para a área de pesca, rotas marítimas e terrestres de *Epinephelus morio* capturadas ao largo da costa do Maranhão. NOTA: Área de pesca presumida, reportada pela comunicação pessoal com os pescadores.

2.2 Coleta e processamento da amostra

A pescaria de peixes demersais ocorre ao longo do ano. As amostragens foram realizadas mensalmente durante o período de maio de 2017 a janeiro de 2019 nos boxes de comércio pesqueiro (Figura 2) no mercado dos peixes em Fortaleza. Nos boxes, os exemplares eram medidos em seu comprimento total (CT) (0,1cm), pesados (PT) (0,01kg) e as gônadas (0,01g) e o par de otólito *sagittae* eram removidos. Para tanto, foram utilizados: fita métrica, balança comercial e balança de alimentos. Como muitos dos exemplares são eviscerados a bordo, não foi possível amostrar as gônadas de todos os indivíduos (44% do total das amostras).

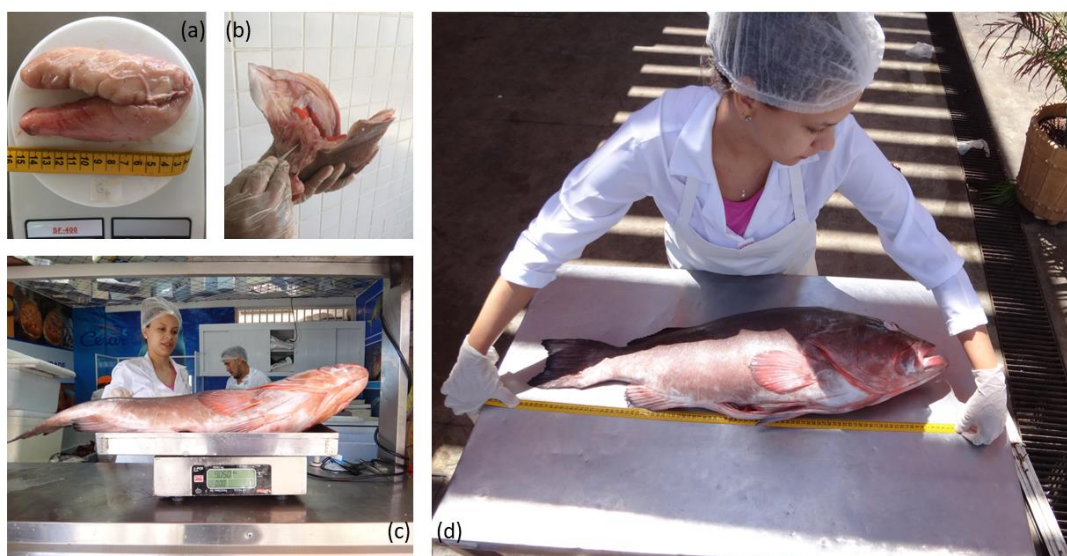


Figura 2: Espécimes de *Epinephelus morio* capturados na costa de Maranhão. Gônada retirada e tendo o peso aferido (a), otólito *sagittae* sendo retirado por pinça (b), indivíduo sendo pesado em balança comercial (c) e aferição de comprimento (d).

2.3 Idade e Crescimento

Os pares de otólitos eram removidos no mercado de peixes enquanto o espécime era preparado para ser comercializado. Os otólitos foram pinçados após uma secção transversal separando a cabeça do resto do corpo do animal (Figura 2b). No laboratório de Dinâmica Populacional e Ecologia de Peixes Marinhos (DIPEMAR - UFC), os otólitos foram lavados, pesados em balança de precisão (0,001g) e armazenados com a devida identificação. Para a leitura, o otólito esquerdo foi escolhido, por apresentar mais estruturas inteiras, uma vez que a significância não apresentou diferença entre o par ($p > 0,05$). Portanto, cada otólito esquerdo foi emblocado em resina epóxi e posteriormente foi realizado o corte (espessura de 400 μ) em serra metalográfica adiamantada. O processamento dos otólitos foi realizado no Laboratório de Ecossistemas Oceânicos e Recifais da Universidade Federal de Pernambuco (LECOR-UFPE).

Quando necessário, os cortes foram lixados (lixa 2000). Os cortes foram colados em lâminas de microscopia com o auxílio de Entellan. A leitura dos otólitos foi feita com luz refletida e as imagens foram obtidas com o auxílio de uma câmera (Leica S9D). Para a determinação da idade, as bandas opacas foram contadas (Green et al., 2009; Hoedt, 1992; Volpedo & Vaz-Dos-Santos, 2015).

Para a estimativa da idade, duas leituras foram realizadas sem o conhecimento do comprimento do animal. A leitura foi efetuada após o estabelecimento e padronização do eixo entre o núcleo e a região ventral (Figura 3). Visando avaliar a acurácia da leitura, o índice do erro percentual médio (%) foi calculado (Beamish & Fournier, 1981). Após a conclusão das duas leituras, o índice percentual de erro médio (IAPE) foi calculado e, se esse for superior a 10%, uma terceira leitura terá que ser realizada.

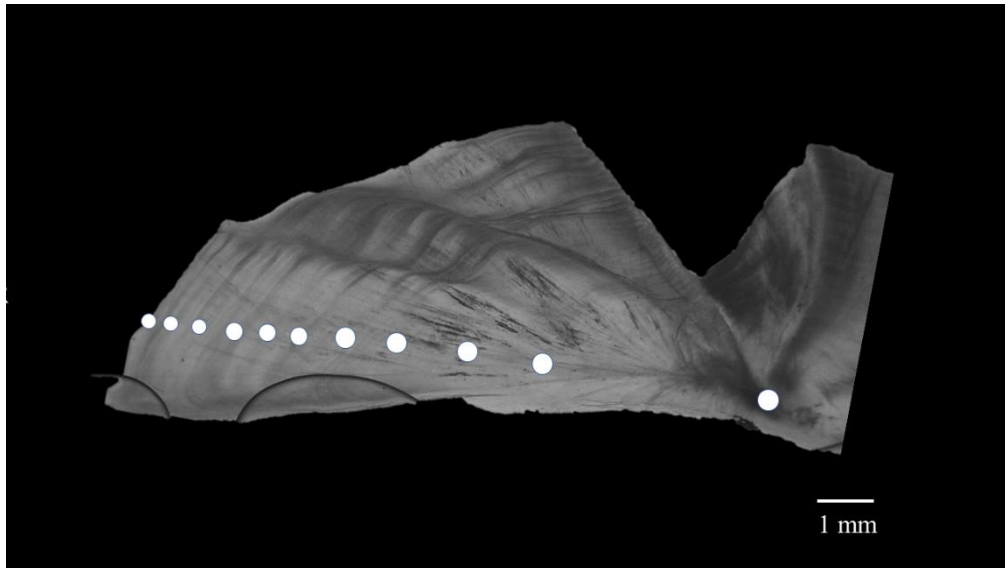


Figura 3: Otólito seccionado de um espécime de 70 cm de comprimento da *Epinephelus morio* capturado na costa do Maranhão, Brasil, mostrando o eixo de leitura padronizada (do núcleo até a margem ventral).

A fim de verificar a adequabilidade do otólito para a determinação da idade e do crescimento de *E. morio*, análises de regressão (correlação de Pearson, $P < 0.05$) e gráficos de dispersão foram estabelecidos considerando: (1) o comprimento do otólito e o comprimento do peixe, (2) comprimento e peso do otólito e (3) peso do otólito e a idade do peixe (Ferreira & Russ, 1994). A relação peso comprimento $W_t = a L_t^b$ (Le-Cren, 1951), onde “ W_t ” corresponde ao peso, “ L_t ” ao comprimento, “ a ” ao fator relacionado com o grau de engorda dos indivíduos e “ b ” ao coeficiente de alometria, relacionado com a forma do crescimento dos indivíduos foi estabelecida. Entretanto, os parâmetros da relação peso-comprimento aqui considerados (a e b) foram estimados a partir do método dos mínimos quadrados, após transformação logarítmica na base neperiana da seguinte equação: $\ln W_t = \ln a + b \ln L_t$.

Neste estudo, a validação da idade não foi feita, pois estudos pretéritos confirmaram que a garoupa vermelha deposita um par de banda opaca/translúcida anualmente (Burgos et al., 2007; Renán et al., 2022; Stiles & Burton, 1994). Choat et al., (2009) afirmaram que as garoupas de regiões tropicais depositam marcas em escala anual. Tal padrão foi observado em *Mycteroperca bonaci* (Crabtree & Bullock, 1998; Rénan et al., 2013), *Epinephelus adscensionis* (Osbeck, 1765; Marques & Ferreira, 2018), *Alphestes afer* (Bloch, 1793; Marques & Ferreira, 2016) e *Cephalopholis fulva* (Linnaeus 1758) (Burgos et al., 2007; Reñones et al., 2007; Araujo & Martins, 2006, Lombardi-Carlson et al., 2008).

A curva de crescimento foi estabelecida usando a função de von Bertalanffy (VBGF, Beverton & Holt, 1956), por meio da seguinte equação: $LT = L_{\infty} \{1 - e^{-K(t - t_0)}\}$, onde L_{∞} representa o comprimento assintótico, k refere-se ao coeficiente de crescimento e t_0 a idade teórica quando o crescimento é igual a zero. Para tanto, o ajuste da curva foi feito com os pacotes `nlstools` e `FSA` (Fish Stock Assessment) (Baty et al., 2015) no software R. O coeficiente de performance [$\Phi = \log(K) + 2\log(L_{\infty})$] (Moureau et al., 1986) foi utilizado para comparar a curva de crescimento obtida nesta pesquisa com aquelas estabelecidas em estudos prévios.

2.4 Reprodução

Os ovários e os testículos foram fixados em formol 10% e armazenados em álcool 70%, onde estas soluções foram diluídas com água do mar. Para a confirmação do sexo e determinação do estágio de desenvolvimento gonadal, uma porção mediana da gônada foi submetida ao processamento histológico conforme Vazzoler (1996). O processo de coloração foi realizado com hematoxilina-eosina.

Os estágios de desenvolvimento gonadal seguiram a classificação estabelecida por Brown-Peterson et al. (2011), onde utilizam os seguintes termos: imaturo (nunca desovou), em desenvolvimento (início do desenvolvimento gonadal, mas não pronto para desovar), capaz de desovar (apto a desovar), Ativamente desovando (subfase de capaz de desovar), em regressão (término/parada da desova), em regeneração (sexualmente maduro, mas inativo reprodutivamente) e fase de transição (momento em que o peixe começa a mudar de sexo).

A proporção sexual foi avaliada mensalmente e por classes de comprimento por meio do teste do X^2 . Foi determinado o índice gonadosomático, conforme a seguinte equação: $IGS = [PG/(PT-PG)] * 100$, onde PG refere-se ao peso da gônada (g) e PT refere-se ao peso do peixe (g) (García-Díaz et al., 1997). Esse índice foi avaliado juntamente com a variação temporal da frequência de ocorrência dos diversos estágios de desenvolvimento gonadal. Nenhum exemplar foi amostrado no mês de março e nos meses de fevereiro e maio, apenas um indivíduo foi coletado. Portanto, para fins de análise, os dados do IGS foram agrupados em trimestres. Após testar os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, o teste de Kruskal–Wallis ($K-W$) foi utilizado para averiguar diferenças significativas no IGS entre os trimestres.

Foram aplicados os testes não paramétricos de Mann-Whitney: (1) diferenças sexuais e (2) diferenças no IGS entre estações seca e chuvosa. O teste de Kruskal-Wallis: (1)

variações mensais no IGS. Em seguida, o teste de Mann-Whitney foi aplicado como post-hoc. O software estatístico PAST (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001) foi utilizado. O nível de significância de 0,05 foi estabelecido para todos os tratamentos estatísticos citados. A média mensal da pluviosidade foi obtida no site do INMET (<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>) (Estação A203 de São Luís MA). As estações do ano (chuvosa e seca) foram definidas conforme FUNCEME (2009).

2.5 Mortalidade

O método de curva de captura linearizada foi utilizado para estimar a mortalidade total (Z) e a sobrevivência anual (A), dada pela fórmula: $(1 - \exp^{-b}) \times 100$. A partir dos parâmetros de crescimento obtidos pelo modelo VBGF e pela temperatura média na costa Amazônica do Nordeste brasileiro, a fórmula empírica de Pauly (1980) foi empregada para estimar a mortalidade natural (M): $\text{Log}(M) = -0,0066 - 0,279 \log(L_{\infty}) + 0,6543 \log(k) + 0,4534 \log(T)$, onde k é o coeficiente de crescimento anual, L_{∞} é o comprimento máximo assintótico em centímetros e T é a temperatura média da superfície do mar (SST). Os dados de temperatura da superfície do mar na área de pesca foram obtidos do satélite AQUA SENSOR MODIS e utilizados para calcular a temperatura média (28,3°C).

2.6 Declaração de ética

Esta pesquisa não foi submetida à autoridade de licenciamento local ou nacional porque as amostras foram obtidas a partir de animais capturados na pesca artesanal. No momento da retirada da amostra, os animais estavam mortos.

3. RESULTADO

Foram amostrados 122 exemplares de garoupas vermelha, onde destes, foram obtidos 100 pares de otólitos *sagittae* e 54 gônadas. O tamanho e peso dos espécimes variou de 46 a 91 cm e de 1,13 a 9,23 kg (Figura 4). A moda da classe de comprimento foi de 77-79 cm, o que corresponde a 18% das capturas (Figura 5). A relação peso-comprimento logaritimizada para fêmeas foi estabelecida: $\ln Wt = 3,0293 \ln TL - 11,346$ ($r^2 = 0,91$); para machos: $\ln Wt = 1,3974 \ln TL - 4,1594$ ($r^2 = 0,4506$), indivíduos em transição: $\ln Wt = 3,3077 \ln TL - 12,499$ ($r^2 = 0,8291$) e para os sexos agrupados $\ln Wt = 3,0308x - 11,345$ ($r^2 = 0,9222$). A Figura 6 demonstra a alometria negativa ($b < 3$)

para os machos, alometria positiva ($b > 3$), enquanto os indivíduos em transição, fêmeas e sexos agrupados apresentaram isometria ($b = 3$).

A regressão linear entre o comprimento do peixe (TL) e o comprimento do otólito (OL) foi significativa ($F = 2644$, $df = 82,02$, $p < 3,516E-64$), onde os parâmetros da reta obtidos foram $a = 7,1$, $b = 0,19$, com um coeficiente de correlação $r^2 = 0,7$ (Figura 7). Uma relação linear significativa entre a idade e o peso dos otólitos foi confirmada e expressa pela seguinte equação: $\log(OW) = 0,072 + 0,022 \log(\text{Idade})$, onde OW refere-se ao peso otólito. O coeficiente de correlação foi $r^2 = 0,7$, $F = 738,9$, $df = 86,12$, $p = 5,004E-44$ (Figura 8).

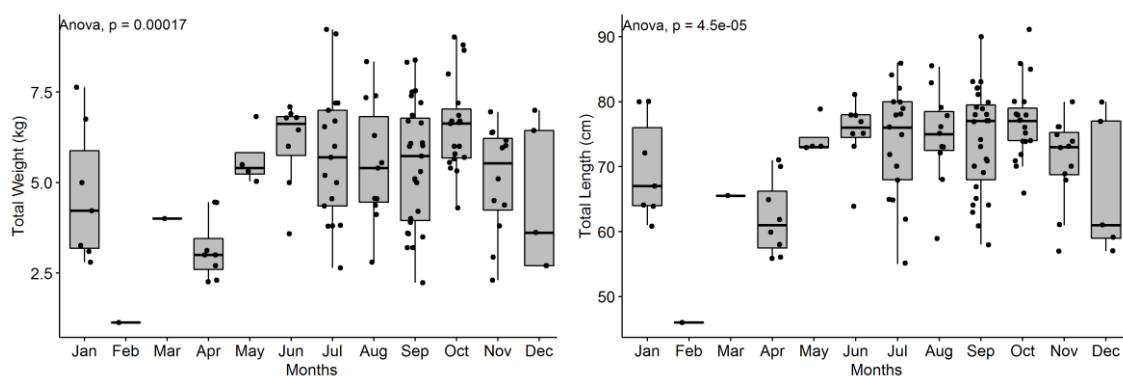


Figura 4: Boxplot do peso total e comprimento total de espécimes de *Epinephelus morio* amostrados na costa do Maranhão, Brasil.

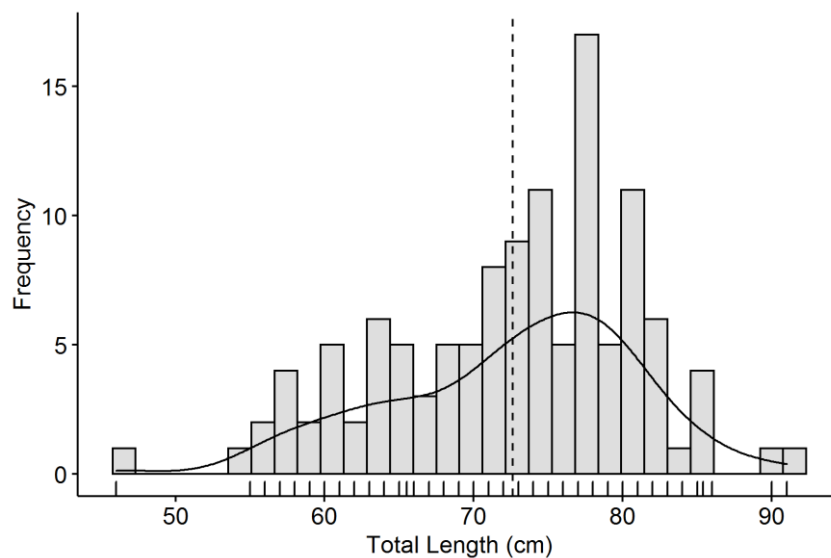


Figura 5: Distribuição de frequência de comprimento de espécimes de *Epinephelus morio* amostrados na costa do Maranhão. Linha preta contínua: densidade; Linha tracejada: moda.

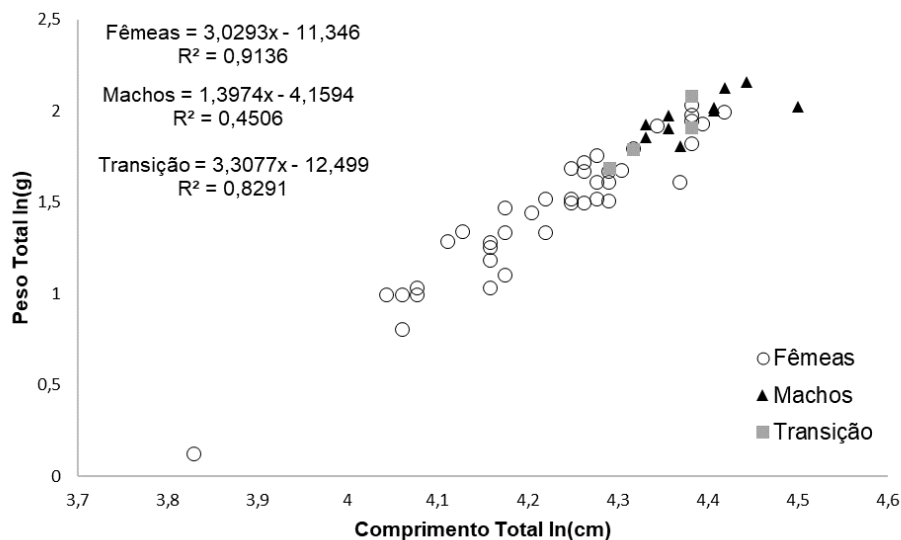


Figura 6: Relação peso-comprimento da garoupa vermelha *E. morio* na costa do Maranhão, Brasil.

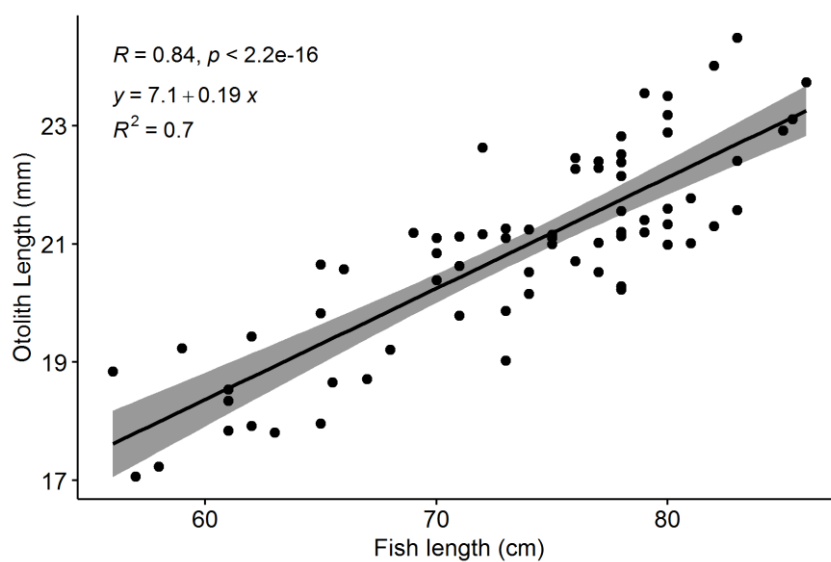


Figura 7: Relação entre o comprimento total dos peixes (cm) e o comprimento dos otólitos (mm) da garoupa vermelha *E. morio* capturados na costa do Maranhão, Brasil.

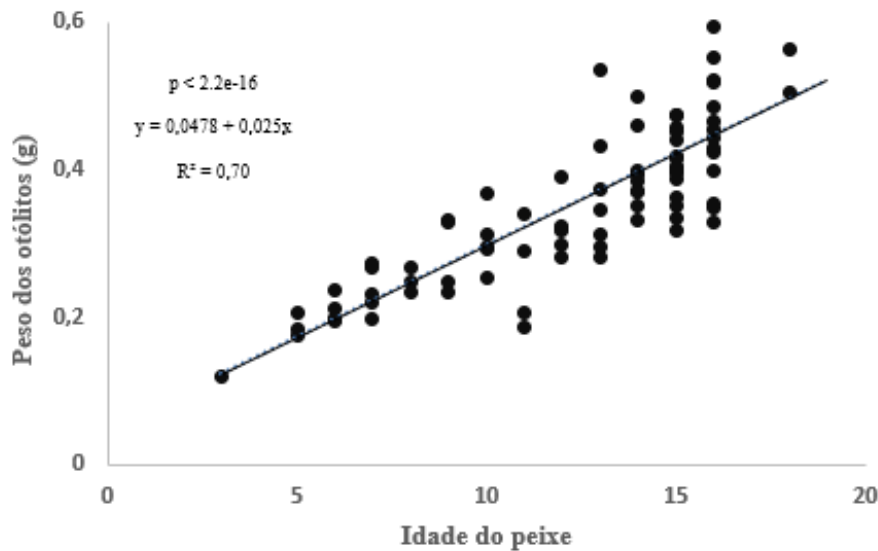


Figura 8: Relação entre a idade dos peixes e o peso dos otólitos (g) da garoupa vermelha *E. morio* capturados na costa do Maranhão, Brasil.

3.1 Reprodução

O sexo, estado reprodutivo e os pesos de gônadas de 54 espécimes foram aferidos. Destes, 40 (74%) foram classificados como fêmeas, 10 (18%) como machos, e 4 (7%) em transição sexual (Figura 10). As fêmeas variaram de 46 - 83 cm TL e 1,13 – 7,63 kg. Os machos tinham 76 - 90 cm TL e 6,08 – 8,65 kg. A transição sexual foi encontrada em meses avulsos e o menor tamanho de transição foi de 73 cm TL com 5,4kg e o maior TL 80cm com 8,0 kg.

Foi encontrado diferença significativa entre o comprimento total para os sexos (macho, fêmea e transição) (K-W= 18,18; $p = 0,0001097$), onde as fêmeas apresentam diferença significativa com relação aos CT dos peixes em transição ((Teste Mann-Whitney U= 28; $p = 0,03503$) e os machos (Teste Mann-Whitney U= 39; $p = 9,731E-05$). O mesmo foi observado para o peso total, considerando a segregação entre os sexos (T-W= 17,94; $p = 0,0001265$), onde as fêmeas apresentam menor peso em relação aos peixes em transição ((Teste Mann-Whitney U= 24; $p = 0,0234$) e machos (Teste Mann-Whitney U= 29; $p = 3,526E-05$) (Figura 9).

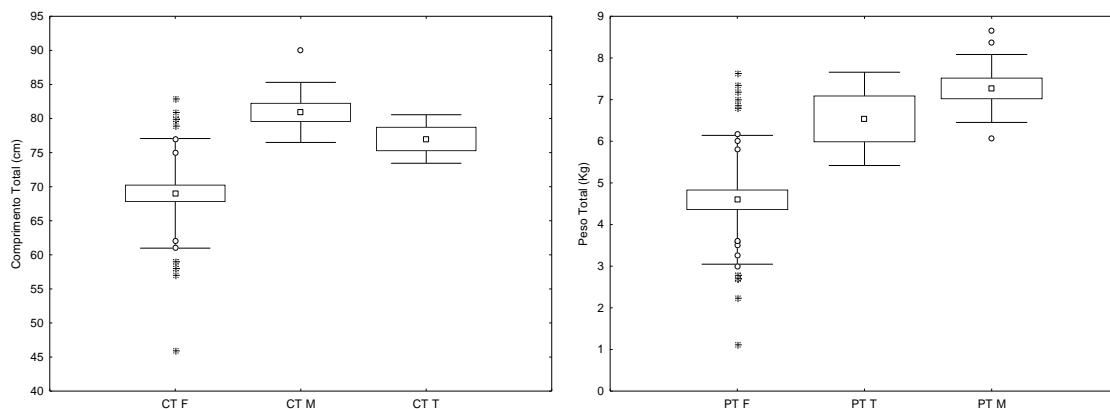


Figura 9: Boxplot do comprimento total e peso total em relação ao sexo, incluindo indivíduos em transição.

A proporção sexual média durante o período de estudo foi de 1:4 (M: F), ou seja, uma maior quantidade de fêmeas. Dentre os meses analisados, as fêmeas foram dominantes em quase todos. O único mês que apresentou uma proporção igual de machos e fêmeas foi o mês de setembro (Tabela 1).

Tabela 1: Proporção sexual por mês dos indivíduos capturados na Costa do Maranhão.

Mês	Número		Total	%		X ²
	Fêmeas	Machos		Fêmeas	Machos	
Jan	5	0	5	100.0	0.0	-
Fev	1	0	1	100.0	0.0	-
Abr	4	0	4	100.0	0.0	-
Mai	1	0	1	100.0	0.0	-
Jun	3	0	3	100.0	0.0	-
Jul	5	1	6	83.3	16.7	44.36
Ago	4	0	4	100.0	0.0	-
Set	5	5	10	50.0	50.0	0.00
Out	6	3	9	66.7	33.3	11.16
Nov	2	1	3	66.7	33.3	11.16
Dez	4	0	4	100.0	0.0	-
Total	40	10	50	80.0	20.0	36.00

*= Significativo ao nível de 5%

Quanto à proporção sexual em relação à classe de comprimento, as fêmeas tiveram uma proporção sexual maior que os machos, exceto na classe 75.6 F- 83.0 cm que apresentou uma proporção de 1:1 (M: F) e a classe 83,0 F- 90,4 cm que foi composta somente por machos (Tabela 2).

Tabela 2: Proporção sexual por classe de comprimento dos indivíduos capturados na Costa do Maranhão.

Classe de comprimento	Número		Total	%		X ²
	Fêmeas	Machos		Fêmeas	Machos	
46.0 F 53.4	1	0	1	100.0	0.0	-
53.4 F 60.8	5	0	5	100.0	0.0	-
60.8 F 68.2	12	0	12	100.0	0.0	-
68.2 F 75.6	14	0	14	100.0	0.0	-
75.6 F 83.0	8	8	16	50.0	50.0	0.00
83.0 F 90.4	0	2	2	0.0	100.0	-
Total	40	10	50	80.0	20.0	36.00

*= Significativo ao nível de 5%

A distribuição em classes de tamanho apresentou-se unimodal, onde as fêmeas apresentaram pico na classe 68,2 F 75,6 cm com 14 indivíduos, enquanto os machos tiveram o pico na classe 75,6 F 83,0 cm com 8 indivíduos, os indivíduos em transição apareceram somente na classe 75,6 F 83,0 cm (Figura 10).

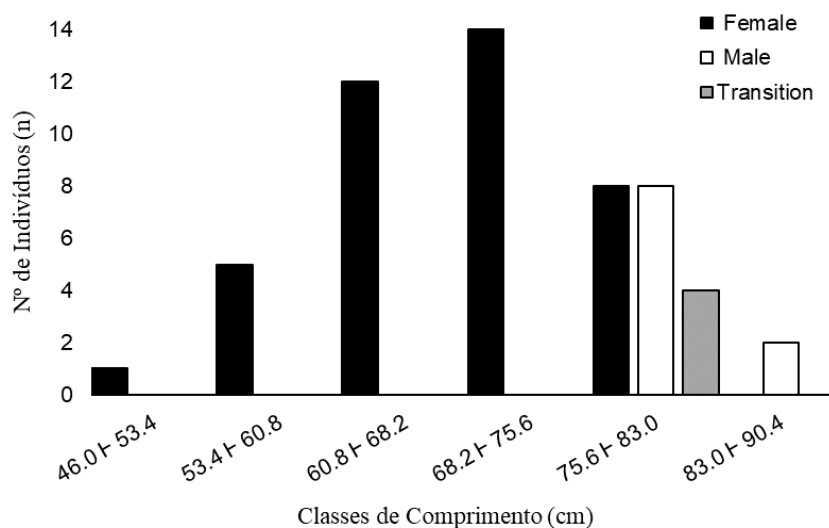


Figura 10: Distribuição de frequência de comprimento por sexo e em transição dos indivíduos capturados na costa do Maranhão, Brasil.

Considerando o período de amostragem (maio/2017 a novembro/2018), o GSI médio apresentado pelas fêmeas foi $\bar{x} = 1,43$ e para os machos e $\bar{x} = 0,197$. O maior GSI, acompanhado pela fase ativamente desovando e capaz de desovar foi encontrado nos meses de junho ($\bar{x} = 2,40$) e agosto (5,42), indicando picos de desova, com destaque para o mês de agosto. A ocorrência de fêmeas apresentando características como oócitos hidratados, atresia, presença

de POFs e, de machos apresentando testículos volumosos em meses sobrepostos indicando um período de desova prolongada (Figura 11 e Figura 12).

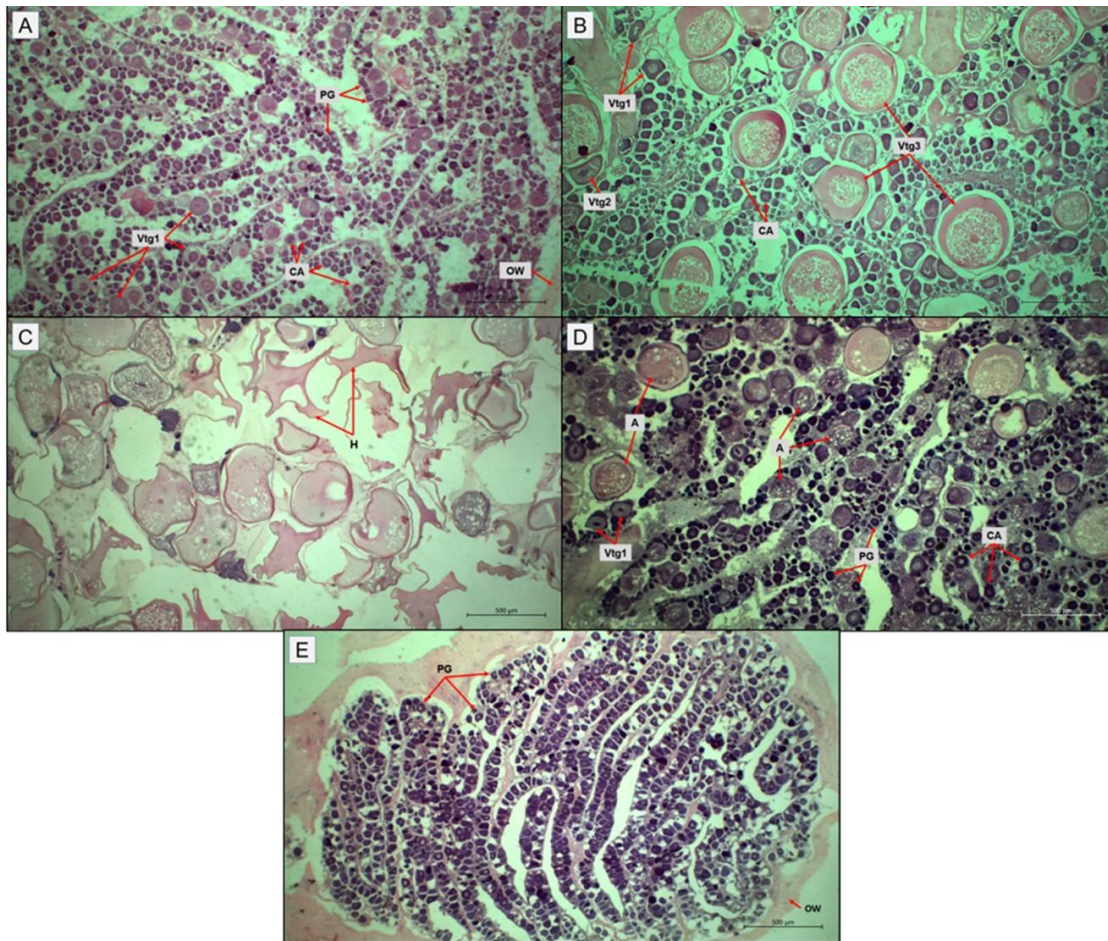


Figura 11: Lâminas histológicas de gônadas de fêmeas de *E. morio* capturadas na costa do Maranhão. A) em desenvolvimento; B) capaz de desovar; C) ativamente desovando; D) em regressão; E) em regeneração.

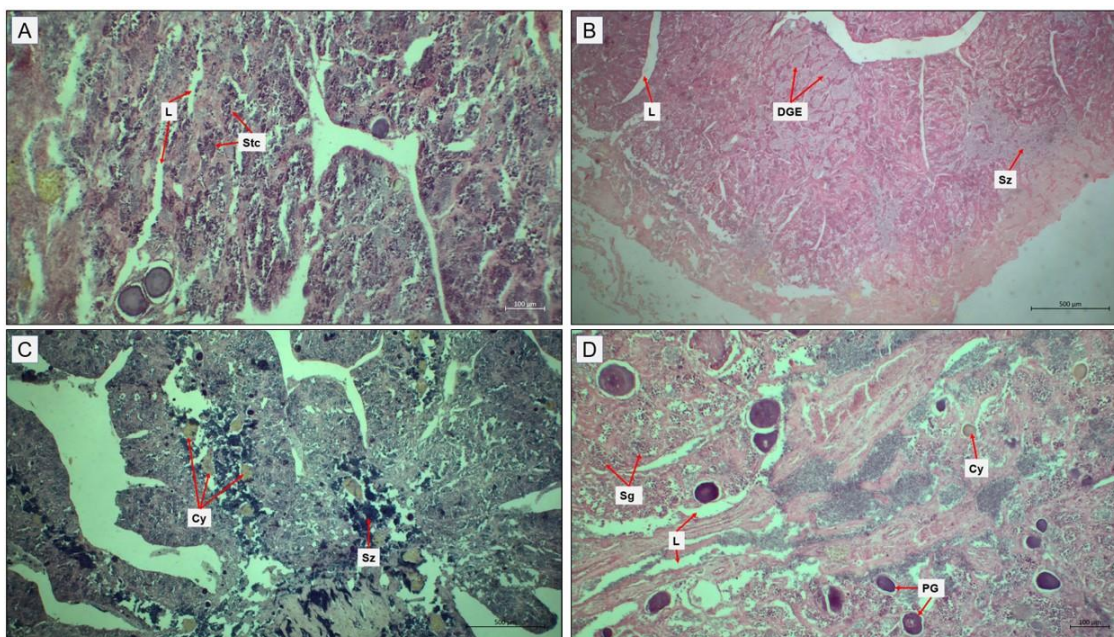


Figura 12: Lâminas histológicas de gônadas de machos de *E. morio* capturadas na costa do Maranhão. A) em desenvolvimento; B) capaz de desovar; C) em regressão; D) em regeneração.

Foi observada diferença significativa entre as medianas do GSI para os meses amostrados ($K-W= 27,7$; $p = 0.005939$). Os meses que foram diferentes estão marcados na Tabela 3. Indica-se que o período de desova corresponde à estação seca do norte do país (junho a dezembro) (Figura 14). Nos meses de fevereiro a maio observou-se um predomínio da fase de "regeneração" (100%), apresentando apenas oogônia e crescimento primário (PG) de oócitos para as fêmeas e grande quantidade de espermatogônia para os machos. A fase de desenvolvimento foi encontrada de setembro a dezembro, tanto nos machos como nas fêmeas (Figura 15). Não foi amostrado a fase imatura no presente estudo, portanto todos os indivíduos estudados eram adultos, sendo a menor fêmea de 46 cm TL (3 anos) e o menor macho de 76 cm (14 anos).

Quando agrupados por estações, os valores de IGS apresentaram médias de 1,33 para a estação seca e 0,46 para a estação chuvosa, contudo, estatisticamente não apresentaram diferença significativa. (Figura 13).

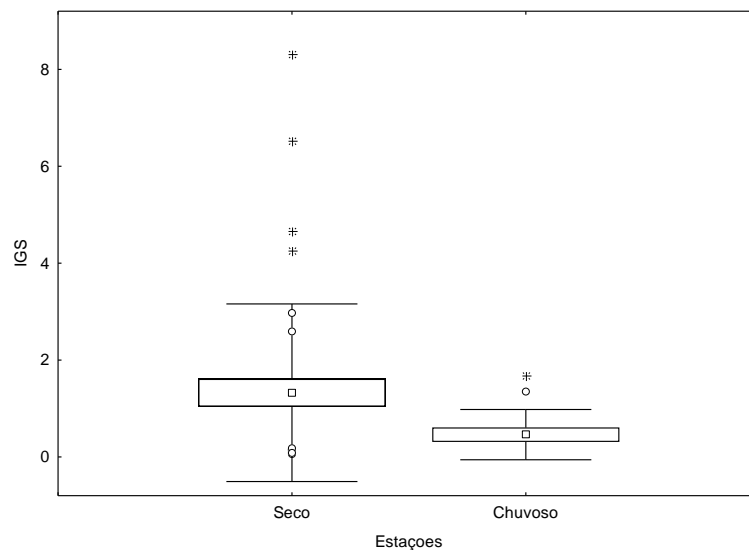


Figura 13: Boxplot das estações (seca e chuvosa) em relação ao índice gonadosomático (IGS) aferido dos espécimes de *E. morio* capturados na costa do Maranhão.

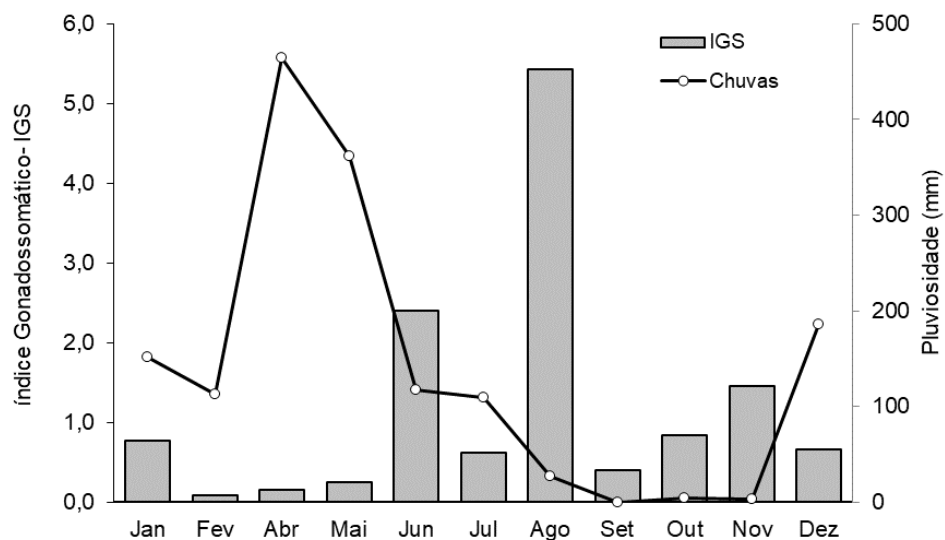


Figura 14: Distribuição comparada entre o IGS e a pluviosidade (mm) por mês na costa do Maranhão, Brasil.

Tabela 3: Comparações *post-hoc* pelo teste de Mann-Whitney do IGS entre os meses para a garoupa vermelha (*E. morio*). *Correlações significativas ao nível de 5% ($p < 0,05$).

	Jan	Fev	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan											
Fev	0.211										
Abr	0.025*	0.724									
Mai	0.453		0.724								
Jun	0.166	0.289	0.061	0.724							
Jul	0.298	0.211	0.241	0.803	0.070						
Ago	0.014*	0.289	0.030*	0.289	0.194	0.014*					
Set	0.045*	0.268	0.322	0.635	0.028*	0.551	0.006*				
Out	0.416	0.155	0.104	0.874	0.077	0.786	0.006*	0.385			
Nov	0.366	0.371	0.112	0.371	0.860	0.156	0.052	0.052	0.353		
Dez	0.241	0.289	0.471	0.724	0.112	0.749	0.030*	0.944	0.289	0.377	

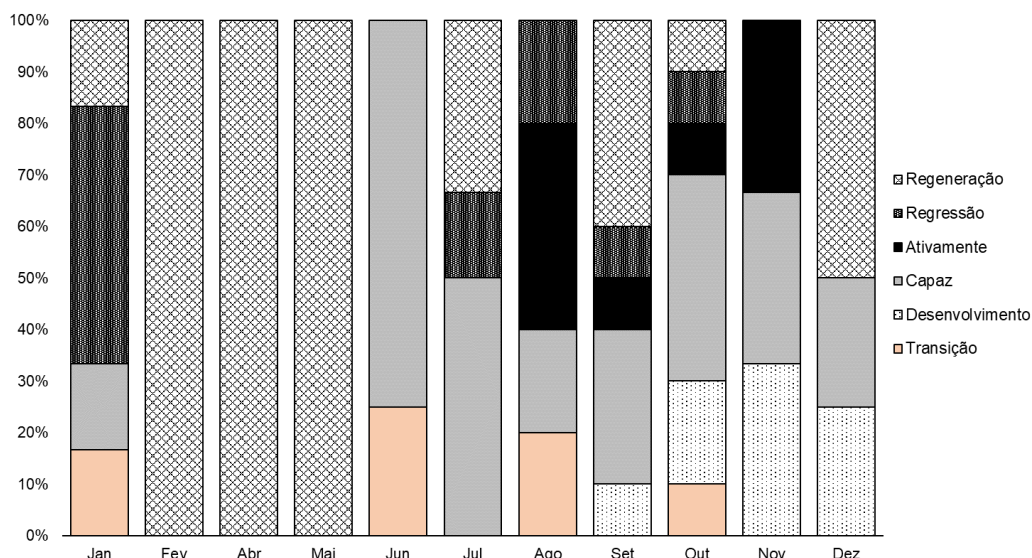


Figura 15: Frequência relativa (%) das fases de maturação para *Epinephelus morio* por mês capturadas na costa do Maranhão, Brasil.

3.2 Idade e Crescimento

Foi analisado um total de 100 lâminas de otólitos seccionados em 400μ , onde os espécimes possuíam de 46 - 91 cm de comprimento e pesavam $72,80 \pm 8,34$ cm (média \pm S.D.). As estimativas de idade não apresentaram distribuição normal ($W = 0,9373$, $P = 0,0001327$). As leituras dos anéis de crescimento divergiram em 27% das lâminas, nas quais a maior diferença foi entre a contagem de 2 anéis, resultando em um IAPE de 1,6%. Como o valor obtido da IAPE foi inferior a 10%, as leituras 1 e 2 foram consideradas iguais. As estimativas de idade não apresentaram distribuição normal ($W = 0,9373$, $P = 0,0001327$). Ambas as leituras tiveram uma idade mínima de 3 anos, porém a idade máxima para a leitura 1 foi de 18 anos enquanto para a leitura 2 a idade máxima foi de 19 anos. A periodicidade da formação dos anéis foi estabelecida por estudos anteriores (Burgos et al, 2007; Renán et al., 2022; Stiles & Burton, 1994), portanto, nessa pesquisa assumiu-se que cada anel corresponde a um ano de idade.

As classes de ano mais representativas foram 13,15,16 e 17 anos, representando, respectivamente, 10%, 10%, 10% e 17% da amostra. Os indivíduos mais velhos da amostra mediam 91 (19 anos) e 90 (18 anos) cm de CT. Os indivíduos mais jovens da amostra mediam 46cm (3 anos) e 55 – 56 cm (5 anos).

Os parâmetros de crescimento para o modelo Von Bertalanffy foram calculados, e as curvas de crescimento foram ajustadas com t_0 não fixado (Figura 16).

Os parâmetros da VBGF disponíveis na literatura para os espécimes da garoupa vermelha capturados no Golfo do México, Carolina do Norte e Carolina do Sul, Florida e porção

oeste do Brasil foram utilizados para calcular a performance de crescimento (Φ') a fim de comparar as curvas de crescimento (Tabela 4).

Tabela 4: Parâmetros de von Bertalanffy disponíveis na literatura e performance de crescimento para a garoupa vermelha com os sexos agrupados.

Pesquisas	TL_{∞} (cm)	K	t_0 (year)	Φ'	Área
Moe (1969)	67,2	0,18	-0,449	2,91	Golfo Oriental do México
Johnson & Collins (1994) ¹	79,9	0,23	-0,057	3,16	Golfo Oriental do México
Stiles & Burton (1994) ²	93,8	0,15	-0,099	3,13	Sudeste dos EUA
Burgos et al. (2007) ³	85,32	0,21	-0,812	3,18	Carolina do Norte e Carolina do Sul
Lombardi-Carlson et al. (2008) ⁴	84,8	0,17	0,32	3,09	Costa Oeste da Flórida
Renán et al. (2022)	100,93	0,09	-0,31	2,96	Sul do Golfo do México
Present study	92,46	0,13	-2,02	3,06	Litoral Nordeste do Brasil

¹todos os dados retrocalculados (1979-1981 e 1991-1992 combinados); ²todos os dados dos anéis retrocalculados;

³todos os dados do comprimento observado na idade; ⁴todos os dados do VBGF com tamanho modificado.

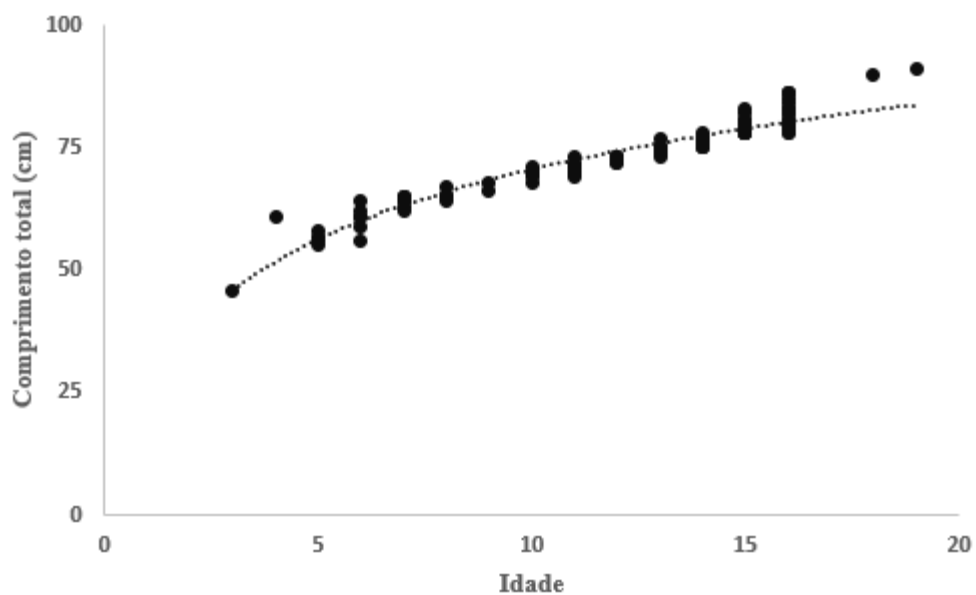


Figura 16: Curva de crescimento Von Bertalanffy com o parâmetro t_0 não fixado para a garoupa vermelha *Epinephelus morio* na costa do Maranhão, Brasil.

3.3 Mortalidade

A mortalidade total foi $Z = 0,24 \text{ anos}^{-1}$ (Figura 1) e a mortalidade natural foi $M = 0,10 \text{ anos}^{-1}$.

4. DISCUSSÃO

Desembarques pesqueiros compõem expressivas participações de espécies de garoupas nas capturas, tanto no Sudeste como no Nordeste Brasileiro (Lessa e Nóbrega, 2000; Haimovici et al., 2006), porém, pesquisas nacionais com garoupas são escassas e, para a espécie *Epinephelus morio*, há apenas estudos sobre biologia reprodutiva abrangendo o banco de Abrolhos/NE e SE do Brasil (Freitas et al, 2018; Freitas et al, 2011). Essa espécie juntamente com a garoupa preta *M. bonaci* e *M. interstitialis* estão inseridas (há 8 anos) na Portaria 445, decreto governamental que visou em 2014 a proteção e o reestabelecimento de espécies que estão classificadas como ameaçadas na Lista Vermelha Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção (ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2014) e, somente em 2018, foi decretado a Portaria Interministerial n.º 59-C. Esse documento definiu regras para a utilização sustentável e recuperação de algumas unidades populacionais pesqueiras, estabelecendo medidas, critérios e padrões para o ordenamento pesqueiro.

Os espécimes de garoupa vermelha obtidos no presente estudo são provenientes da pesca comercial realizada na plataforma norte do país, no litoral do Maranhão, NE do Brasil, utilizando frota de pesca artesanal, como embarcações motorizadas de madeira, que capturam espécies demersais com auxílio de linha de mão e espinhel de fundo. Dados provenientes da pesca podem ser vantajosos, uma vez que podem ser coletados de forma rotineira e com continuidade (Begg, 2005), porém é relevante afirmar que há efeitos da seletividade da arte de pesca nas capturas, visto que os petrechos e a profundidade influenciam diretamente nas capturas (Ricker, 1975). Lombardi-Carlson (2008) comenta sobre a seletividade das artes de pesca desafiarem a suposição de que as capturas sejam amostras representativas de certa população pesqueira. De fato, as amostras obtidas no presente estudo foram tendenciosas para indivíduos maiores (de 72 a 81 cm, ou seja, de 13 a 16 anos), porém um ponto positivo é o fato de ser idades nas quais os indivíduos já atingiram a maturação.

4.1 Parâmetros biológicos

O comprimento total máximo registrado nesse estudo (91cm), pertence a faixa de comprimento constantemente encontrado nas pesquisas com essa espécie (89 cm por Ximena-Renán et al., 2022; 85,1 cm por Burgos et al., 2004; 96 cm por Freitas et al., 2018), nesses estudos, os estudos os peixes foram capturados utilizando os mesmos artefatos de pesca, linha de mão e espinhel, tais comprimentos supracitados estão aquém do comprimento máximo

registrado na literatura (125 cm) (Claro, 1994). Acredita-se que devido à sobreexploração pesqueira será raro encontrar exemplares que detenha essas proporções.

A relação peso-comprimento para fêmeas e para os sexos agrupados apresentaram isometria ($b=3$), ou seja, o aumento do peso é igual ao comprimento para essa espécie (Froese, 2006), característica semelhante ao encontrado por Freitas et al, 2011 ($b=2.97$). Os machos, desse estudo, tiveram alometria negativa ($b < 3$), onde o aumento do comprimento é superior ao peso, e os indivíduos em transição tiveram alometria positiva ($b > 3$), onde o aumento do peso é superior ao comprimento.

É sabido que o otólito aumenta à medida que o peixe cresce (Volpedo & Vaz-Dos-Santos, 2015), assim como o desenvolvimento do otólito sofre interferências do meio (e.g. temperatura, profundidade e salinidade) (Mosegaard et al., 1988, Galley et al., 2006, Lombarte et al., 2010), porém a melhor variável para estimar a idade de peixes é o peso do otólito, uma vez que este não é diretamente afetado por fatores ambientais (Cardinale et al., 2004). A relação linear encontrada no presente estudo confirmou ambas as afirmações acima ($r^2=0,70$), assim para outras garoupas, na costa do nordeste do Brasil para *M. bonaci* (Ponte et al., 2022) e no sudeste do Brasil para *E. niveatus* (Costa et al., 2011).

4.2 Reprodução

Para o grupo das garoupas é possível distinguir por meio de estudos histológicos que há padrões de época reprodutiva por região (García-Cagide et al., 2001; Claro et al., 2009, Freitas et al., 2018; 2011). No Brasil, mais precisamente na região Sudeste, Freitas et al., (2011) e Freitas et al., (2018) observaram que a garoupa vermelha apresenta os maiores IGS e registro de gônadas na fase de “ativamente desovando” entre julho e outubro (temperaturas baixas) e o maior IGS em agosto. Tal padrão também foi observado no presente estudo, o qual, a época reprodutiva que apresentou maiores IGS e fases de desenvolvimento gonadal “ativamente desovando” foi entre agosto e novembro e o maior IGS em agosto, no período seco do Norte do Brasil. Entretanto, no hemisfério Norte, estudos apontaram a época de desova durante o primeiro semestre do ano, tanto na costa da Carolina do Norte e Carolina do Sul (fevereiro a junho, com o pico durante o mês de abril) (Burgos et al., 2007) e na costa da Flórida (entre janeiro e maio, pico também no mês de abril) (Moe, 1969, Collins et al., 2002). O padrão de desova para as garoupas vermelha corresponde entre o inverno e primavera. De acordo com Freitas et al., (2018) existe uma relação positiva entre os picos de IGS e baixas temperaturas e fortes ventos, esse padrão foi anteriormente citado por Sadovy (1996) ao afirmar que a temperatura é um fator importante nos processos reprodutivos para Epinephelideos.

O padrão hermafrodita protogínico foi registrado nesse estudo para a garoupa vermelha, uma vez que gônadas com a presença de ovócitos em crescimento primário envoltos por células testiculares proliferativas foram observadas por meio da histologia. Este achado é corroborado com os resultados de proporção sexual, onde as fêmeas dominam as populações de *E. morio* 1M:5F (Moe 1969, no Golfo Oriental do México), 1M:6.6F (Burgos et al., 2007, na Carolina do Norte e do Sul), 1M:3.4F (Brulé et al., 1999, no Sul do Golfo do México), 1M:2.3F (Collins et al., 2002, no Golfo Oriental do México) e 1M:10F (Freitas et al., 2018, no Banco de Abrolhos sul da Bahia e norte do Espírito Santo/Brasil). Nesse estudo a proporção sexual foi de 1M:4F e não foi observado um padrão sazonal para a transição sexual, assim como comenta Moe 1969, Brulé et al., 1999, Coleman et al., 1996 e Burgos et al., 2007. Esses autores também relataram transições durante todo o ano.

A presença de indivíduos em transição é uma informação inédita para *E. morio* capturados na região Norte do Brasil. Este resultado é relevante por se tratar de amostras provenientes da pesca comercial, ou seja, influenciadas pela seletividade de anzóis (Campbell et al., 2014), bem como por ser sabido que a incidência de indivíduos em transição nas amostragens é difícil de ser evidenciada. Este registro geralmente corresponde a 0,1% das amostras (Crabtree e Bullock 1998). Em um estudo realizado com o sirigado *M. bonaci* oriundos da mesma região, não foi possível evidenciar amostras de indivíduos em transição, nem machos (Ponte et al., 2022).

4.3 Idade e Crescimento

Os otólitos da garoupa são espessos, sendo necessário o seccionamento para a realização da leitura dos anéis de forma precisa. Entretanto, devido à aproximação dos anéis etários em indivíduos maiores/mais velhos foi difícil realizar a leitura. A estimativa da idade das garoupas é geralmente muito complicada devido aos estreitamentos dos anéis etários em direção à borda dos otólitos à medida que o peixe aumenta de idade (Harris e Collins, 2000; Manickchand-Heileman e Phillip, 2000). Tal dificuldade foi relatada por Crabtree and Bullock (1998) para as garoupas em geral e Ponte et al., (2022) também apontou essa problemática em *M. bonaci*, mencionando um emaranhamento de anéis de crescimento perto da borda, tornando as leituras mais complexas.

Para *E. morio* existem algumas pesquisas sobre idade e crescimento na costa dos EUA e na costa do México (Moe, 1969; Johnson e Collins, 1994; Stiles e Burton, 1994; Schirripa e Burns, 1997; Lombardi-Carlson et al., 2002; Burgos et al., 2007; Renán et al., 2022). Os parâmetros de crescimento VGBF do presente estudo (Linf, K e t0) foram consistentes com

os padrões relatados pelos estudos acima (Figura 16), ou seja, apresentando k baixo e t_0 negativo. Os epinephelídeos, em geral, apresentam valores de t_0 negativos e crescimento rápido nos primeiros anos de vida (Craig et al., 1997) e possuem alta longevidade (Manooch, 1987; Begossi et al., 2019). É relevante que se estimem parâmetros de idade e crescimento com acurácia, uma vez que estes representam uma das primeiras etapas para se conhecer a biologia de uma espécie e, dessa forma, possibilitar a avaliação e gerenciamento dos estoques pesqueiros (Green et al., 2009).

4.4 Mortalidade

Devido às características próprias do ciclo de vida das garoupas, as taxas de mortalidade natural e total estimadas apresentam baixos valores (Manooch & Mason 1987; Jennings et al. 1999; Sadovy de Mitcheson et al. 2008). Consistentemente, os valores encontrados ($M=0,10^{-1}$ e $Z= 0,24^{-1}$) corroboram com a literatura e são análogas as taxas encontradas por Lombardi-Carlson et al. (2008) Z (0,28) e M (0,15) e por Ximena-Renán (2022) M (0.14¹) para *Epinephelus morio*.

Posto que a predação tende a diminuir à medida que os indivíduos atingem maiores tamanhos (Chagaris & Mahmoudi, 2013; Grüss et al., 2013, 2016), a taxa M para as garoupas como a desse estudo (*E. morio*) e outras espécies *M. bonaci*, *E. itajara*, *M. microlepis* que atingem grandes tamanhos tem inclinação a baixos valores (Ursin, 1967; Ximena-Renán et al., 2022; Ponte et al., 2022). Isto explica a relação direta da mortalidade natural e o parâmetro de crescimento (Ximenes-Carvalho et al., 2012).

5. CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa são inéditos para *Epinephelus morio* na plataforma Norte do Brasil, ao largo do Estado do Maranhão. Embora os desembarques tenham sido monitorados no Porto do Estado do Ceará/NE do Brasil, as capturas foram realizadas de uma área do litoral do Estado do Maranhão, indicando que a frota se deslocou para o norte, buscando estoques menos explorados, visto que os sinais de superexploração e declínio são observados há 45 anos (1970 a 2015) (Brule et al., 2018).

Os dados coletados para esse estudo foram adquiridos anteriormente ao decreto governamental (No. 59-C/2018) que regulamenta um ordenamento de pesca para *E. morio*. Entende-se a necessidade de um gerenciamento pesqueiro efetivo para a garoupa vermelha a fim de evitar que o declínio populacional se acentue. Faz-se necessário que seja posto em prática os planos de manejo e fiscalização, uma vez que as embarcações estão se distanciando

cada vez mais em busca de áreas remotas.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, D. E. J.; MARTINS, A. Age and growth of coney (*Cephalopholis fulva*) from the central coast of Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 86, n. 1, p. 187-191, 2006.

BATY, F.; RITZ, C.; CHARLES, S.; BRUTSCHE, M.; FLANDROIS, J. P.; DELIGNETTE-MULLER, M. L. A toolbox for nonlinear regression in R: The package nlstools. **Journal of Statistical Software**, v. 66, n. 5, p. 1-21, 2015. <https://www.jstatsoft.org/article/view/v066i05>, <https://doi.org/10.18637/jss.v066.i05>.

BEAMISH, R. J.; FOURNIER, D. A. A method for comparing the precision of a set of age determinations. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 38, p. 982-983, ago. 1981.

BEGG, G. A. Life history parameters. *In*: CADRIN, S. X.; FRIEDLAND, K. D.; WALDMAN, J. R. (org.). **Stock Identification Methods, Applications in Fishery Science**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005, p. 119-150.

BEGOSSI, A.; RICHERSON, P. J. The animal diet of families from Búzios Island (Brazil): an optimal foraging approach. **Journal of Human Ecology**, v. 3, p. 433-458, 1992.

BEGOSSI, A.; SALYVONCHYK, S.; GLAMUZINA, B.; SOUZA, S. P.; LOPES, P. F. M.; PRIOLLI, R. H. G.; PRADO, D. O.; RAMIRES, M.; CLAUZET, M.; ZAPELINI, C.; SCHNEIDER, T.; SILVA, L. T.; SILVANO, R. A. M. Fishers and groupers (*Epinephelus marginatus* and *E. morio*) in the coast of Brazil: integrating information for conservation. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 15, n. 53, p. 1-26, nov. 2019. doi: 10.1186/s13002-019-0331-2.

BROWN-PETERSON, N. J.; WYANSKIB, D. M.; SABORIDO-REYC. F.; MACEWICZD, B. J.; LOWERRE-BARBIERIE, S. K. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. **Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science**, v. 3, p. 52-70, 2011. <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.555724>.

BRULÉ, T.; DÉNIEL, C.; COLÁS-MARRUFO, T.; SÁNCHEZ-CRESPO, M. Red Grouper Reproduction in the Southern Gulf of Mexico, **Trans. Amer. Fishe. Soc.**, v. 128, p. 385-402, jul. 1998, doi: 10.1577/1548-8659(1999)128<0385:RGRITS>2.0.CO;2.

BRULE, T.; BERTONCINI, A. A.; FERREIRA, B.; AGUILAR-PERERA, A.; SOSA-CORDERO, E. *Epinephelus morio*, Red Grouper. **The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T44681A46914636**. Doi: 10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T44681A46914636.en.

BURGOS, J. M.; SEDBERRY, G. R.; WYANSKI, D. M.; HARRIS, P. J. Life history of red grouper (*Epinephelus morio*) off the coasts of North Carolina and South Carolina. **Bulletin of Marine Science**, v. 80, n. 1, p. 45-65, 2007.

BURGOS, R.; DEFEO, O. Long-term population structure, mortality and modeling of a tropical multi-fleet fishery: the red grouper *Epinephelus morio* of the Campeche Bank, Gulf of Mexico. **Fisheries Research**, v. 66, p. 325-335, fev. 2004. doi: 10.1016/S0165-7836(03)00192-9.

CAMPBELL, S. J.; MUKMININ, A.; KARTAWIJAYA, T.; HUCHERY, C.; CINNER, J. E. Changes in a coral reef fishery along a gradient of fishing pressure in an Indonesian marine protected area. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, p. 92-103, 2004. doi: 10.1002/aqc.2359.

CBD - Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2014). Ecologically or Biologically Significant Marine Areas (EBSAs): Special Places in the World's Oceans. Vol. 2, pp. 86. Wider Caribbean and Western Mid-Atlantic Region.

CHAGARIS, D. & B. MAHMOUDI. (2013). Natural Mortality of gag Grouper from 1950 to 2009 Generated by an Ecosim Model. SEDAR33-DW07. SEDAR, North Charleston, SC. 23 pp.

CHOAT, J. H., KRITZER, J. P., & ACKERMAN, J. L. (2009). Ageing in coral reef fishes: Do we need to validate the periodicity of increment formation for every species of fish for which we collect age-based demographic data? In B. S. Green, D. B. Mapstone, G. Carlos, & G. A. Begg (Eds.), *Tropical fish otoliths: Information for assessment, management, and ecology. Reviews: methods and technologies in fish biology and fisheries* 11 (pp. 23–54). Berlin: Springer Science + Business Media B.V.

CLARO, R., 1994. Características generales de la ictiofauna. p. 55-70. In R. Claro (ed.) *Ecología de los peces marinos de Cuba*. Instituto de Oceanología Academia de Ciencias de Cuba and Centro de Investigaciones de Quintana Roo.

CLARO, R. AND K.C. LINDEMAN. – 2003. Spawning aggregation sites of snapper and grouper species (Lutjanidae and Serranidae) on the insular shelf of Cuba. *Gulf Carib. Res.*, 14: 91-106.

CLARO, R., Y. SADOVY DE MITCHESON, K.C. LINDEMAN AND A. GARCÍA CAGIDE. – 2009. Historical analysis of commercial Cuban fishing effort and the effects of management interventions on important reef fishes: 1960-2005. *Fish. Res.*, 99(1): 7-16.

COLLINS, L. A.; G. R. FITZHUGH, L. A. LOMBARDI-CARLSON, H. M. LYON, W. T. WALLING, AND D. W. OLIVER. 2002. Characterization of red grouper (*Serranidae: Epinephelus morio*) reproduction from the eastern Gulf of Mexico. National Marine Fisheries Service Southeast Fisheries Science Center 3500 Delwood Beach Road Panama City, FL 32408.

COSTA, P. A. S.; BRAGA, A. C.; RUBINICH, J. P.; ÁVILA-DA-SILVA, A. O.; NETO, C. M. Age and growth of the snowy grouper, *Epinephelus niveatus*, off the Brazilian coast. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, v. 92, n. 3, p. 633-641, 2012. <https://doi.org/10.1017/S0025315411000142>.

CRABTREE, R. E.; BULLOCK, L. H. Age, growth, and reproduction of black grouper, *Mycteroperca bonaci*, in Florida waters. *Fishery Bulletin*, v. 96, p. 735-753, 1998.

FERREIRA, B. P., & RUSS, G. R. (1994). Age validation and estimation of growth rate of the coral trout, *Plectropomus leopardus*, (Lacepede 1802) from Lizard Island, Northern great barrier reef. *Fish Bull*, 92, 46–57.

FREITAS, M. O., PREVIERO, M., MINTE-VERA, C. V., SPACH, H. L., FRANCINIFILHO, R. B., LEAO, D. E., & MOURA, R. (2018). Reproductive biology and management of two commercially important groupers in the Swatlantic. *Environmental Biology of Fishes*, 101, 79–94. <https://doi.org/10.1007/s10641-017-0682-2>.

FREITAS, M. O., LEAO DE MOURA, R., FRANCINI-FILHO, R. B., & MINTE-VERA, C. V. (2011). Spawning patterns of commercially important reef fish (Lutjanidae and Serranidae) in the tropical western South Atlantic. *Scientia Marina*, 75(1), 135–146, Barcelona (Spain).

FUNCEME. Para Entender Melhor a Previsão Meteorológica Para a Estação Chuvosa no Ceará. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídrico - FUNCEME, 20p. 2009.

GALLEY, E. A.; WRIGHT, P. J.; GIBB, M. F. Combined methods of otolith shape analysis improve identification of spawning areas of Atlantic cod. *ICES Journal of Marine Science*, v. 63, n. 9, p. 1710-1717, 2006. doi: 10.1016/j.icesjms.2006.06.014.

GARCÍA-CAGIDE, M. M.; TUSET, V. M.; GONZÁLEZ, J. A.; SOCORRO, J. Sex and reproductive aspects in *Serranus cabrilla* (Osteichthyes: Serranidae): Macroscopic and histological approaches. *Marine Biology*, v. 127, p. 379-386, 1997.

GREEN, B. S., MAPSTONE, B. D., GARY, C., & BEGG, G. A. (2009a). Introduction to otoliths and fisheries in the tropics. In B. S. Green, B. D. Mapstone, C. Gary, & G. A. Begg (Eds.), *Tropical fish otoliths: Information for assessment, management and ecology* (pp. 1–22). New York: Springer.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

GRÜSS, A., M.J. SHIRRIPA, D. CHAGARIS, M.D. DREXLER, J. SIMONS, P. VERLEY, Y.-J. SHIN, R.

OLIVEROS-RAMOS, M. KARNAUSKAS, & C.H. AINSWORTH. (2013). Natural mortality rates and diet patterns of gag grouper (*Mycteroperca microlepis*) in the West Florida Shelf ecosystem in the 2000s: Insights from the individual-based, multi-species model OSMOSE-WFS. SEDAR33- AW22. SEDAR, North Charleston, SC. 44 pp.

GRÜSS, A., M.J. SCHIRRIPA, D. CHAGARIS, L. VELEZ, Y.J. SHIN, P. VERLEY, R. OLIVEROS-RAMOS & C.H. AINSWORTH. (2016). Estimating natural mortality rates and simulating fishing scenarios for Gulf of Mexico red grouper (*Epinephelus morio*) using the ecosystem model OSMOSEWFS. *Journal of Marine Systems*, 154, 264–279. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.10.014>

HAIMOVICI, M., CERGOLEM, M., LESSA, R., MADUREIRA, L., & WONGTSCHOWSKI, C. (2006). Program Revizee. Panorama Nacional. In Book: Avaliação Do ~ Potencial Sustentável Dos Recursos Vivos Na Zona Econômica Exclusiva Do Brasil - Programa Revizee, Relatório Executivo, pp. 79-125, 1st edn.

HOEDT, F. E. (1992). Validation of daily growth increments in otoliths from *Thryssa aestuaria* (Ogilby), a tropical anchovy from northern Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 43, 1043–1050.

KJERFVE, B., PERILLO, G. M. E., GARDNER, L. R., RINE, J. M., DIAS, G. T. M., & MOCHEL, F. R. (2002). Chapter twenty morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. In *Proceedings in Marine Science*, Vol. 4 (Terry, H., Ying, W., Judy-Ann, H., eds), pp. 479-532. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1568-2692\(02\)80094-8](https://doi.org/10.1016/S1568-2692(02)80094-8)

LE CREN, E. D. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). **The Journal of Animal Ecology**, v. 20, n. 2, p. 201-219, 1951.

LESSA, R.; NÓBREGA, M.F. (2000). Programa REVIZEE / SCORE-NE, Guia de Identificação de Peixes Marinhos da Região Nordeste. Recife.

LE-CREN, E.D. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and conditions in the perch *Percafluviatilis*. *Jour. Anim. Ecol.* 20 (2): 201-1.

LOMBARDI-CARLSON, L.; FITZHUGH, G.; PALMER, C.; GARDNER, C.; FARSKY, R.; ORTIZ, M. Regional size, age and growth differences of red grouper (*Epinephelus morio*) along the west coast of Florida. **Fisheries Research**, v. 91, p. 239-251, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.12.001>.

LOMBARTE, A.; PALMER, M. MATAILLANAS, J. GÓMEZ-ZURITA, J.; MORALES-NIN, B. Ecomorphological trends and phylogenetic inertia of otolith sagittae in Nototheniidae. **Environmental Biology of Fishes**, v. 83, p. 607-618, 2010.

MANICKCHAND-HEILEMAN SC, PHILLIP DAT (2000) Age and growth of the yellowedge grouper, *Epinephelus flavolimbatus*, and the yellowmouth grouper, *Mycteroperca interstitialis*, off Trinidad and Tobago. *Fish Bull* 98:290–298

MARQUES, S.; FERREIRA, B. P. Sexual development and demography of the rock hind *Epinephelus adscensionis*, a protogynous grouper, in the south-west Atlantic. **Marine and Freshwater Research**, v. 62, n. 2, p. 300-312, 2018. <https://doi.org/10.1071/MF17016>.

MOE, M.A., 1969. Biology of the red grouper, *Epinephelus morio* (Valenciennes), from the eastern Gulf of México. Florida Bd. Conserv., Mar. Lab., Prof. Pap. Ser. 10, 1–95

MOSEGAARD, H., SVEDANG, H. & TABERMAN, K. (1988). Uncoupling of somatic and otolith growth rates in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) as an effect of differences in temperature response. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45, 1514–1524.

MOUREAU, J.; BAMBINO, C.; PAULY, D. Indices of overall growth performance of 100 tilapia (*Cichlidae*) population. *In*: MACLEAN, J. L.; DIZON, L. B.; HOSILLOS, L. V. (org.). **The first Asian Fisheries Forum**. Manila Philippines: Asian Fisheries Society, 1986, p. 201-206.

NÓBREGA, M. F., LESSA, R., & SANTANA, F. M. (2009). Peixes marinhos da Região Nordeste do Brasil ~ – Programa Revizee – Score Nordeste (Volume 6). Fortaleza: Editora Martins & Cordeiro.

PADOVANI-FERREIRA, B., BERTONCINI, A.A., POLLARD, D.A., ERISMAN, B., SOSA-CORDERO, E., ROCHA, L.A., AGUILAR-PERERA, A. & BRULÉ, T. 2018. *Mycteroperca bonaci*. The Iucn Red List of Threatened Species 2018: e. T132724A46916253.

PAULY, D. On the interrelationship between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *ICES Journal of Marine Science*, v. 39, n. 2, p. 175-192, 1980.

PONTE, A.R.I.; VASCONCELOS-FILHO, E. J; FEITOSA, V.C.; PADOVANI-FERREIRA, B. (2022). Demography of the black grouper, *Mycteroperca bonaci* (Poey, 1860) (Teleostei: Epinephelidae) from the North Brazil Shelf. *Journal of Fish Biology*. Regular paper. DOI: 10.1111/jfb.15085.

RENÁN, X.; BRULÉ, T.; GALINDO-CORTES, G.; COLÁS-MARRUFO, T. (2022). Age-based life history of three groupers in the southern Gulf of Mexico. *Journal of fish biology*. Regular Paper. <https://doi.org/10.1111/jfb.15145>.

RENAN, X.; SECA-CHABLÉ, E.; BRULÉ, T. Age and growth of *Mycteroperca bonaci* from Southern Gulf of Mexico. **Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute**, Santa Marta, Colombia, November 5-9, 2012, 2013.

REÑONES, O.; PIÑEIRO, C.; GONI, R. Age and growth of the dusky grouper *Epinephelus niveatus* (Lowe, 1834) in an exploited population of the western Mediterranean Sea. **Journal of Fish Biology**, v. 71, p. 346-362, 2007.

RICKER, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of Fisheries Research Bd Can.*, 191, 1–382.

SADOVY DE MITCHESON Y, CRAIG MT, BERTONCINI AA ET AL (2012) Fishing groupers towards extinction: a global assessment of threats and extinction risks in a billion dollar fishery. *Fish Fish* 14:119–136. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00455.x>

STILES, T.C.; BURTON, MICHAEL L. 1994. Age, growth, and mortality of Red Grouper, *Epinephelus morio* from the southeastern U.S. pg 123-138. Conference Name: Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute, 43.

VAZZOLER, A. E. A. de M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. São Paulo: Eduem, 1996.

VOLPEDO, A.V, VAZ-DOS-SANTOS, A.M. 2015. Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones/Métodos de estudos com otolitos: princípios e aplicações –1a ed. edicion bilingue. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Isbn 978-987-33-8884-2.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sirigado (*Mycteroperca bonaci*) e a garoupa vermelha (*Epinephelus morio*) são peixes recifais de grande porte que tem sido alvo de intensa exploração pesqueira por pescarias comerciais e recreacionais. Devido às suas características biológicas (e.g. maturação sexual tardia, baixa taxa reprodutiva, extensa longevidade e formação de agregação reprodutiva), estas espécies tornam-se mais vulneráveis à sobrepesca. Assim, seus status na IUCN são de espécies quase em perigo de extinção. Essa tese traz dados inéditos sobre a dinâmica populacional dessas duas espécies de garoupas para o Sudoeste do Atlântico.

Os parâmetros estimados de idade e crescimento para as duas garoupas do estudo foram consistentes com os encontrados na literatura para os epinephelideos, corroborando com a afirmação de que, geralmente, estes apresentam crescimento lento, alta longevidade e baixa taxa de t_0 . A taxa do desempenho de crescimento estimado para *M. bonaci* e *E. morio*, corroborou com os padrões de crescimento relatado para as espécies da família Epinephelidae, ou seja, $\Phi' = 3$.

Em relação à biologia reprodutiva, não foi possível amostrar indivíduos machos ou em transição sexual nas coletas de *M. bonaci*, mesmo sendo amostrado o maior exemplar de sirigado relatado na literatura. Este se tratava de uma fêmea na fase “capaz de desovar”. Para a *E. morio* as amostragens registraram o padrão hermafrodita protogínico característico para as duas espécies do estudo. Ambas as espécies apresentaram épocas de desova e pico de IGS entre junho e outubro, com o pico de IGS em agosto.

As taxas de mortalidade (M e Z) para as espécies estudadas indicaram baixos valores, uma vez que a *M. bonaci* e o *E. morio* possuem características inerentes ao grupo das garoupas acerca do ciclo de vida que gera valores de mortalidade natural e total baixos.

Por fim, estudos com propósito de obtenção de dados biológicos e pesqueiros são etapas categóricas para que se possa traçar planejamentos que suscitam o gerenciamento adequado aos estoques pesqueiros, sobretudo quando se trata de espécies superexploradas e enquadradas em alguma categoria de ameaça.