



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL

RODRIGO AUGUSTO MORENO SANTOS

**O USO DO HÁBITAT POR JUVENIS DO MERO  
*Epinephelus itajara* (Lichtenstein, 1822) (Perciformes:  
Epinephelidae) NO ESTUÁRIO DO RIO CRICARÉ,  
NORTE DO ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA

2022

RODRIGO AUGUSTO MORENO SANTOS

**O USO DO HÁBITAT POR JUVENIS DO MERO *Epinephelus itajara* (Lichtenstein, 1822) (Perciformes: Epinephelidae) NO ESTUÁRIO DO RIO CRICARÉ, NORTE DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Hostim Silva.

Coorientador: Dr. Mario Vinicius Condini

VITÓRIA

2022

RODRIGO AUGUSTO MORENO SANTOS

**O USO DO HÁBITAT POR JUVENIS DO MERO *Epinephelus itajara* (Lichtenstein, 1822) (Perciformes: Epinephelidae) NO ESTUÁRIO DO RIO CRICARÉ, NORTE DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Maurício Hostim Silva - Orientador  
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

---

Prof. Dr. Jean-Christophe Joyeux  
Examinador Interno - Universidade Federal do  
Espírito Santo - UFES

---

Dr. Matheus Oliveira Freitas  
Examinador Externo - Instituto Meros do Brasil

---

Dr. Joelson Musiello Fernandes  
Examinador Suplente - Universidade Federal do  
Espírito Santo - UFES



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**Centro de Ciências Humanas e Naturais**  
**Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**“O USO DO HÁBITAT POR JUVENIS DO MERO EPINEPHELUS ITAJARA (LICHTENSTEIN, 1822) (PERCIFORMES: EPINEPHELIDAE) NO ESTUÁRIO DO RIO CRICARÉ, NORTE DO ESPÍRITO SANTO”**

por

**Rodrigo Augusto Moreno Santos**

Prof. Dr. Maurício Hostim Silva  
CEUNES - UFES  
SIAPE: 1651997  
ICTIOLOGIA

---

Prof. Dr. Maurício Hostim Silva  
Universidade Federal do Espírito Santo (via webconferência)

---

Prof. Dr. Jean-Christophe Joyeux  
Universidade Federal do Espírito Santo (via webconferência)

---

Prof. Dr. Matheus Oliveira Freitas  
Instituto Meros do Brasil (via webconferência)

Vitória, 05 de agosto de 2022





UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
MAURICIO HOSTIM SILVA - SIAPE 1651997  
Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - DCAB/CEUNES  
Em 31/08/2022 às 21:37

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/552971?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
JEAN CHRISTOPHE JOYEUX - SIAPE 2290750  
Departamento de Oceanografia e Ecologia - DOE/CCHN  
Em 01/09/2022 às 10:48

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/553304?tipoArquivo=O>

*À minha mãe Elisabeth do Carmo  
Cândido (In Memoriam)*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe Elisabeth do Carmo Cândido (*In Memoriam*) por sempre ter acreditado no meu potencial como profissional e ter incentivado todos os meus passos na carreira acadêmica. Sua trajetória na Terra foi finalizada em decorrência da pandemia do COVID-19 enquanto eu desenvolvia essa pesquisa de mestrado, mas seu legado foi deixado a todos que tiveram o privilégio de conhecê-la! Tenho muito orgulho de ser seu filho. Gratidão.

Ao meu irmão Diego Henrique Santos que tanto me apoiou durante essa jornada em Guriri rumo ao título de Mestre e contribuiu muito para que eu seguisse firme apesar das dificuldades pós-luto. Agradeço também pela produção das fotos aéreas da área de estudo em um dia agradável em campo com o drone! Extendo todo meu agradecimento à minha cunhada Jennifer Sampaio.

Às minhas famílias de Caeté e Sabará (Minas Gerais) por todo apoio e afeto compartilhado (ainda que à distância) nestes tempos difíceis de isolamento social. Obrigado por tudo!

Aos meus amigos de Belo Horizonte por estarem comigo desde sempre, me incentivarem a prosseguir na Ciência e compreenderem minhas ausências.

Aos meus amigos da UFES, UFMG, UFPA, ESTM (Portugal) pela disponibilidade de sempre poder compartilhar os momentos bons e os perrengues vividos durante o mestrado. Um agradecimento especial à Tainara Fonseca e Augusto Machado por todo apoio e amizade, vocês fizeram muita diferença no processo!

Ao meu orientador Prof. Dr. Maurício Hostim Silva por me abrir as portas para o mundo da Oceanografia e dos Meros, me aceitar como aluno de mestrado mesmo eu nunca tendo trabalhado na Ictiologia, além de prover recursos e as melhores condições para a realização deste trabalho e contribuir cientificamente para a minha formação.

Ao meu co-orientador Dr. Mario Vinicius Condini por todo apoio durante os trabalhos de campo, pelas importantes discussões científicas e pelas valiosas correções durante a escrita dos artigos e da Dissertação.

À toda equipe do Laboratório de Ecologia de Peixes Marinhos (LEPMAR / CEUNES - UFES) pela recepção, em especial à Tainara Fonseca, Augusto Machado, Rafael Oliveira, Luciano Almeida, Marcos Bomfim, Mariana Nascimento, Alexandre Aschenbrenner, Jonas Vasconcelos, Helen Pichler, Rafael Laurindo e Ester Felipe.



Aos co-autores do artigo fruto da Dissertação: Dr. Marcelo Soeth (UFES), MSc. Lorena Lopes Almeida (UFES) e Dr. Áthila Bertoncini (UFSC / Instituto Meros do Brasil) pelas valiosas contribuições científicas que muito enriqueceram os trabalhos. À Lorena, agradeço ainda pela revisão do inglês!

À equipe de campo do Projeto Meros do Brasil e às pescadoras e pescadores da comunidade de Pontal do Sul (Conceição da Barra) que me receberam de braços abertos desde o início do planejamento dos trabalhos e durante os meses de coleta acampado (Juliana, Juliete, Dona Luciene, Sr. Matheus, Vinícius, Maria, as crianças e toda família Lopes Clarindo). Gratidão!

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental – PPGOAm por todo conhecimento compartilhado, principalmente aos Professores Jean Joyeux e Iury Gonçalves pelas contribuições ao projeto de mestrado durante as reuniões do comitê de acompanhamento. À Profa. Mônica Tognella por compartilhar tanto saber sobre o ecossistema manguezal e à Profa. Jacqueline Albino por tanta competência ao ensinar sobre a costa do Espírito Santo.

Aos Professores Dr. Leonardo Sousa Carvalho (UFPI) e Dra. Luísa Mafalda Gigante Rodrigues Carvalheiro (UFG) pelas aulas de Estatística disponibilizadas sobre delineamento experimental e GLM. Ao Prof. João Correia (ESTM, Peniche – Portugal) pelas aulas incríveis de Biologia Pesqueira que muito me ajudaram nas análises dos dados. Ao Prof. Alexandre Garcia (FURG) pelas considerações sobre o capítulo 2 e pela troca de experiências em campo. Aos Drs. André Cattani (UFPR) e Jonas Vasconcelos (PMAP/ES) pelas importantes formações sobre estatística aplicada à ecologia de peixes.

À toda equipe do projeto de extensão Conservação Marinha ES pela oportunidade de comunicar Ciência em tempos de pandemia, em especial à Renata Landim e Millena Pinto.

Aos amigos de Guriri que me apoiaram durante o tempo em que me tornei capixaba (Anderson Santos, Dona Ana, Thiago, Carlos, Márcio, Camila Anchesqui, Dona Ivete e família). Obrigado pelo acolhimento!

Por fim, agradeço à FAPES – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo pela concessão de bolsa de mestrado (Edital 14/2019 PROCAP 2020) e ao Instituto Meros do Brasil, patrocinado pela Petrobras através do Programa Petrobras Socioambiental, pelo financiamento dos trabalhos de campo e pela disponibilização do banco de dados ecológicos sobre os Meros juvenis.

Muito obrigado!

*“Há peixes que lutam para se salvar  
Daqueles que caçam em mar revoltoso  
E outros que devoram com gênio assombroso  
As vidas que caem na beira do mar  
É na beira do mar (...)”*

*Zé Ramalho*

## APRESENTAÇÃO

A presente Dissertação de Mestrado é um produto científico resultante da coleta e análise de dados ecológicos obtidos a partir do monitoramento de juvenis do Mero *Epinephelus itajara* (Perciformes: Epinephelidae) no norte do Espírito Santo em parceria com o Projeto Meros do Brasil. O Mero é um peixe marinho criticamente ameaçado de extinção e protegido por lei no Brasil e, por isso, foram utilizados métodos de pesquisa não-letais durante 35 meses de coletas de campo distribuídos entre os anos de 2015, 2018, 2019, 2021 e 2022 com o intuito de gerar conhecimento científico sobre a fase juvenil da espécie. A Dissertação se insere na linha de pesquisa *Ecologia e Conservação de Sistemas Costeiros e Marinhos* do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental (PPGOAm) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e está estruturada em três capítulos seguidos de considerações finais, conforme a descrição a seguir: *Capítulo I - O Mero Epinephelus itajara: breve apresentação sobre uma espécie rara e criticamente ameaçada de extinção que ocorre no litoral capixaba*. O primeiro capítulo trata da apresentação do Mero a partir de uma visão geral sobre a espécie, incluindo sua distribuição atual no Oceano Atlântico, sua classificação taxonômica, seu registro fóssil na América do Sul, importância ecológica, ciclo de vida, ontogenia e susceptibilidade à mortalidade por pesca. O capítulo apresenta o status de conservação da espécie a nível mundial e nacional, apresentando a legislação brasileira que visa proteger o Mero e expõe a problemática da pesca ilegal da espécie no Brasil. Em seguida, o capítulo aborda a ocorrência de juvenis de Mero no norte do Espírito Santo, mostra a importância dos manguezais para o ciclo de vida da espécie e apresenta a justificativa do trabalho enfatizando seu alto risco de extinção e a importância da obtenção de dados ecológicos sobre a fase juvenil do Mero, que carece de estudos no Brasil. Por fim, o capítulo elenca a hipótese de pesquisa a ser testada, os objetivos propostos e os materiais e métodos utilizados para alcançar os objetivos e responder à hipótese previamente estabelecida. *Capítulo II: Unraveling the first steps of juvenile Atlantic goliath grouper Epinephelus itajara (Perciformes: Epinephelidae) in a tropical estuary at the southwestern Atlantic coast*. O segundo capítulo foi escrito a partir da análise de dados ecológicos coletados nos anos de 2015, 2018 e 2019 no estuário do Rio Cricaré, no norte do Espírito Santo e está apresentado em inglês sob a forma de artigo (Short Report) segundo as normas da revista Marine Biology Research (ISSN 1745-1000, Qualis CAPES B1 – Ciências Ambientais, Fator de Impacto 1.298) e tem como objetivo registrar a ocorrência de juvenis de Mero em

uma área de berçário, além de registrar recapturas de indivíduos ao longo do tempo através do método de marcação-recaptura e fornecer dados biológicos sobre a relação comprimento-peso e o padrão de crescimento de juvenis nos primeiros estágios de vida.

*Capítulo III: Habitat use of juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara*: a critically endangered species in Brazil.* O terceiro capítulo foi escrito a partir da análise de dados ecológicos coletados nos anos de 2021 e 2022 na mesma área de estudo e está apresentado em inglês sob a forma de artigo (Note) segundo as normas da revista *Endangered Species Research* (ISSN 1613-4796, Qualis CAPES B1 – Biodiversidade, Fator de Impacto 2.029) e tem como foco analisar a variação da abundância de juvenis de Mero no estuário em função de três habitats morfologicamente distintos, além de investigar a influência de variáveis ambientais da água (pH, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e profundidade) sobre a presença de juvenis na área de estudo através de abordagem utilizando Modelos Lineares Generalizados (GLM).

*Considerações Finais.* A parte final do documento apresenta uma compilação dos principais dados ecológicos obtidos pela pesquisa, incluindo informações inéditas para a espécie no Brasil, e apresenta as respostas obtidas sobre a hipótese testada. Além disso, o capítulo reforça a importância dos manguezais do norte do Espírito Santo como berçários para a conservação da espécie, além da necessidade de renovação da moratória que protege o Mero instituída no Brasil em 2002, com data de expiração prevista para o ano de 2023.

## RESUMO

O Mero *Epinephelus itajara* é um peixe recifal estuarino-dependente que habita o Oceano Atlântico de forma descontínua e que se encontra criticamente ameaçado de extinção no Brasil. A espécie é considerada de ocorrência rara, apresentando a fase juvenil associada a ambientes estuarinos, principalmente manguezais, ao passo que na fase adulta a espécie vive associada a ecossistemas recifais rochosos e coralíneos e estruturas artificiais como plataformas de petróleo e naufrágios. O Brasil possui legislação específica que protege a captura e comercialização do Mero desde 2002, porém, toneladas de indivíduos continuam sendo capturadas na extensa costa brasileira mesmo após a proibição. Neste cenário de alto risco de extinção, o presente estudo buscou compreender importantes aspectos ecológicos sobre a fase juvenil da espécie no estuário do Rio Cricaré, no norte do Espírito Santo (sudeste do Brasil). O estudo teve como principais objetivos: 1. Registrar a ocorrência de juvenis de Mero; 2. Verificar a ocorrência de recapturas de indivíduos ao longo do tempo; 3. Determinar a relação comprimento-peso e o padrão de crescimento dos juvenis; 4. Investigar a existência de habitats preferenciais no estuário; 5. Determinar como as variáveis abióticas da água influenciam a presença/ausência de juvenis na área de estudo. Os indivíduos foram coletados em campanhas de campo realizadas durante 35 meses entre os anos de 2015, 2018, 2019, 2021 e 2022 com a utilização de armadilhas do tipo covo, além do recebimento de indivíduos incidentalmente capturados por pescadores (as) artesanais locais. Os indivíduos tiveram dados biométricos coletados (comprimento total, comprimento padrão e peso) e os indivíduos maiores que 10 cm foram marcados com *pit tags* contendo numeração única inseridas via subcutânea para obtenção de dados sobre marcação-recaptura. A pesquisa apontou a ocorrência de 305 capturas de juvenis na área de estudo, apresentando comprimento total entre 5.4 a 50.5 cm, dos quais 148 indivíduos foram marcados com *pit tags*. A taxa de recaptura de indivíduos no estuário foi de 11.5% ( $n = 17$ ) e a relação comprimento-peso dos juvenis ( $n = 265$ ) resultou em um padrão de crescimento alométrico negativo ( $b = 2.876$ ). O teste de Kruskal-Wallis corroborou a hipótese de que os juvenis não se encontram distribuídos aleatoriamente no estuário e o teste *post hoc* de Dunn evidenciou que juvenis possuem preferência por ambiente lagunar aberto (largura máxima = 320 m) em detrimento aos ambientes de riacho médio (largura máxima = 40 m) e riacho estreito (10 m). A abordagem de Modelos Lineares Generalizados (GLM) reafirmou a hipótese de que os juvenis não encontram-se aleatoriamente distribuídos no estuário, contudo não identificou influência significativa das variáveis abióticas (pH, temperatura, profundidade, salinidade e oxigênio dissolvido) sobre a presença de juvenis nos três diferentes ambientes coletados. Apesar disso, o presente trabalho registrou que os juvenis de Mero possuem tolerância a concentrações de oxigênio dissolvido muito baixas ( $<1 \text{ mgL}^{-1}$ ) e grande amplitude de salinidade (1.5 a 30.7 ppt). De acordo com a abundância de juvenis e a ocorrência de recapturas de indivíduos ao longo do tempo na mesma área, o presente trabalho sugere que o estuário do Rio Cricaré atua como importante berçário para a espécie e que os juvenis apresentam fidelidade ao habitat e, neste contexto, compreender o uso do habitat por juvenis em manguezais é uma estratégia importante para apoiar ações que visem a conservação do Mero no Brasil, uma vez que a fase juvenil é uma fase crítica para a continuidade do ciclo de vida da espécie.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conservação; Espécie ameaçada; Manguezal; Método não-letal; Peixe recifal

## ABSTRACT

The Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* is an estuarine-dependent reef fish that discontinuously inhabits the Atlantic Ocean and is currently classified as Critically Endangered in Brazil. The species is considered to be of rare occurrence and shows habitat use shifts, inhabiting estuaries and mangroves in the juvenile stage, living associated to coral and rocky reefs, shipwrecks, and oil platforms in the adult stage. The species is protected since 2002 in Brazil, but still being captured even after ban. In this context of imminent extinction, the present study sought to understand important ecological traits about the Atlantic goliath grouper juvenile stage in the Cricaré estuary, northern Espírito Santo state, southeastern Brazil. The main goals of the study were: 1. Report the occurrence of juveniles in study area; 2. Verify the occurrence of recapture of individuals over time; 3. Determine the length-weight relationship and juvenile growth pattern; 4. Investigate the existence of juvenile preferential habitats; 5. Determine how the water abiotic variables influence the presence/absence of juveniles in the estuary. Individuals were collected in field campaigns carried out for 35 months between the years 2015, 2018, 2019, 2021 and 2022 using blue crab traps, in addition to receiving individuals incidentally captured by local artisanal fishers. Individuals had biometric data collected (total length, standard length, and weight), and individuals larger than 10 cm were tagged subcutaneously with pit tags containing unique numbers to obtain data on recapture. The research showed the occurrence of 305 captures of juveniles in the study area, with a total length range from 5.4 to 50.5 cm, of which 148 individuals were marked. The recapture rate of individuals in the estuary was 11.5% (n=17) and the length-weight relationship resulted in a negative allometric growth pattern (n=265, b=2.876). The Kruskal-Wallis test confirmed the hypothesis that juveniles are not randomly distributed in the estuary and Dunn's post hoc test showed that juveniles prefer wide lagoon environment (320 m maximum width) to the detriment of medium creek (40 m maximum width) and narrow creek environments (10 m maximum width). The Generalized Linear Models (GLM) analysis reaffirmed the hypothesis that juveniles are not randomly distributed in the estuary, however, it did not identify a significant influence of abiotic variables (pH, temperature, depth, salinity and dissolved oxygen) on the presence/absence of juveniles in the three environments sampled. Despite this, the present study reports that Atlantic goliath grouper juveniles shows tolerance to very low dissolved oxygen concentrations (<1 mgL<sup>-1</sup>) and a wide range of salinity (1.5 to 30.7 ppt). According to the abundance of juveniles and the occurrence of recaptures of individuals over time in the same area, the present work suggests that the Cricaré estuary acts as an important nursery for the critically endangered species and juveniles show site fidelity and, in this context, to understand the habitat use by juveniles in mangroves is an important strategy to support actions aimed at the conservation of the Atlantic goliath grouper in Brazil, since the juvenile stage is a critical phase for the continuity of the species life cycle.

**KEYWORDS:** Conservation; Endangered species; Mangrove; Non-lethal methodology; Reef fish

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo I

- Figura 1. Mero *Epinephelus itajara* adulto fotografado em Santa Catarina, Brasil. Foto: Áthila Bertoncini, Instituto Meros do Brasil (2010) ..... 16
- Figura 2. Capa da Obra *Historia Natvralis Brasiliae*. Fonte: Marggraf & Piso (1648) ..... 17
- Figura 3. Trecho da hipótese para relações filogenéticas do gênero *Epinephelus*, com destaque a *E. itajara* (A), *E. quinquefasciatus* (B) e *E. lanceolatus* (C). Fonte: Adaptado de Ma & Craig (2018). Fotos: (A) Brasil, Áthila Bertoncini; (B) Colômbia, Gustavo A. Castellanos-Galindo; (C) Hong Kong, Allen W. L. To ..... 19
- Figura 4. Esquema do ciclo de vida do Mero, mostrando a ontogenia e a conexão entre ecossistemas recifais e o manguezal. Fonte: Adaptado de Frias-Torres (2012) em: Tropical Connections – South Florida’s marine environment. Kruckzynski & Fletchers (eds.) ..... 20
- Figura 5. A. Agregação reprodutiva de Meros adultos na Flórida. Foto: Walt Stearns (South Florida Underwater Photography); B. Ovos de Mero em fase de nêurula. Foto: Koenig et al. (Florida State University); C. Larva de Mero. Foto: Claudia Namiki (Universidade de São Paulo); D. Mero juvenil. Foto: J. Van Tassel & D. Robertson (Simithsonian Tropical Research Institute) ..... 20
- Figura 6. Registro de dois indivíduos encontrados encalhados mortos no manguezal do estuário do Rio Cricaré, Conceição da Barra – Espírito Santo. A. Indivíduo juvenil. Foto: Rodrigo Augusto Moreno Santos (2021). B. Provável indivíduo adulto trazido pela maré ao estuário. Foto: Pescadora Juliana Lopes Clarindo (2021) ..... 22
- Figura 7. Registro de indivíduo adulto (180 cm comprimento total) encontrado encalhado morto na Praia de Guriri, São Mateus – Espírito Santo. Fotos: A. e B. Rodrigo Augusto Moreno Santos (2021) ..... 22
- Figura 8. Mero juvenil capturado e devolvido ao estuário do Rio Cricaré, município de Conceição da Barra – Espírito Santo. Foto: Tainara Fonseca Simões, Instituto Meros do Brasil (2019) ..... 23
- Figura 9. Área de Estudo: Estuário do Rio Cricaré. Elaborado por Jonas Vasconcelos (2021) ..... 25
- Figura 10. Foz do Rio Cricaré: manguezal em primeiro plano (à esquerda) e zona urbana de Conceição da Barra ao fundo. Foto aérea: Diego Henrique Santos (2021) ..... 26
- Figura 11. Províncias da Plataforma Continental e Províncias Geológicas do Espírito

Santo. Fonte: adaptado de Albino et al. (2016) .....	26
Figura 12. Pescadora Juliana Lopes Clarindo manuseando covo utilizado nas coletas de juvenis de Mero durante os anos de 2015, 2018 e 2019. Foto: Rodrigo Augusto Moreno Santos (2020) .....	28
Figura 13. Imagem ilustrativa da biometria e da marcação de um indivíduo juvenil utilizando ictiômetro e <i>pit tag</i> . Fotos: A. Lorena Lopes Almeida (2019), B. Rodrigo Augusto Moreno Santos (2020), C. Microchip Partners® (2022), D. Rafael Lima Oliveira (2021) ..	29
Figura 14. Esquema ilustrativo dos diferentes tipos de padrões de crescimento em peixes. Fonte: Luigi Dieb Magalhães (2012) .....	30
Figura 15. Mapa dos pontos de coleta. Adaptado por Rodrigo Augusto Moreno Santos (2022) .....	31
Figura 16. Ponto A. Foto aérea: Diego Henrique Santos (2021) .....	32
Figura 17. Ponto A. Foto: Rodrigo Augusto Moreno Santos (2021) .....	32
Figura 18. Ponto B. Foto: Rafael Lima Oliveira (2021) .....	33
Figura 19. Ponto C. Foto aérea: Diego Henrique Santos (2021) .....	33
Figura 20. Ponto C. Foto aérea: Diego Henrique Santos (2021) .....	34

## Capítulo II

Figure 1: Study Area: Cricaré estuary, Conceição da Barra, Espírito Santo state, southeastern Brazil .....	47
Figure 2: Juvenile Atlantic goliath grouper <i>Epinephelus itajara</i> absolute frequency of occurrence in the Cricaré estuary, southeastern Brazil (n = 265) .....	48
Supplementary Figure 1: Metric relationships of juvenile goliath grouper <i>Epinephelus itajara</i> sampled in the Cricaré estuary, southeastern Brazil: A. TLWR; B. Log TLWR; C. SLWR; D. Log SLWR (n = 265) .....	50

## Capítulo III

Figure 1. Cricaré estuary (northern Espírito Santo, southeastern Brazil) and the three sampled sites .....	62
Figure 2. Figure 2. Abundance of juvenile Atlantic goliath grouper sampled at three sites in the Cricaré estuary, Conceição da Barra, Espírito Santo state, southeastern Brazil .....	65



Figure 3. Abiotic data of the three sampled sites at the Cricaré estuary, Conceição da Barra, Espírito Santo state, southeastern Brazil. A. Salinity (ppt); B. Temperature (°C), C. Depth (cm); D. pH; E. Dissolved Oxygen (mgL-1) .....67

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo II

Table I – Mark-recapture data of 17 juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* individuals sampled in the Cricaré estuary, southeastern Brazil. Where: Id = microchip number inserted in the specimen; TL = total length; SL = standard length; W = weight; M = mark; R = recapture; \* = not available data ..... 49

Table II - Length-weight relationship parameters of juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* sampled in the Cricaré estuary, southeastern Brazil. Where: n = number of specimens; TLWR = total length and weight correlation; SLWR = standard length and weight correlation; SD = standard deviation; a = intercept; b = slope; r<sup>2</sup> = coefficient of determination; CI = confidence interval ..... 50

### Capítulo III

Table I – Data of 40 juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* individuals sampled in the Cricaré estuary, Conceição da Barra, Espírito Santo state, southeastern Brazil. Where: n = specimen number; TL = total length; SL = standard length; Sal. = salinity; DO = dissolved oxygen T = temperature; A = Pontal; B = Lagoon creek; \* = not available data.....65

Table II – Abiotic data of the three morphological distinct sites sampled in the Cricaré estuary, southeastern Brazil. Where: Min = minimum; SD = standard deviation, Max = maximum; A = Pontal; B = Lagoon creek; C = Pitangueiras creek ..... 66

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	15
O Mero <i>Epinephelus itajara</i> : breve apresentação sobre uma espécie rara e criticamente ameaçada de extinção que ocorre no litoral capixaba.....	16
1.1. Hipótese de Pesquisa.....	23
1.2. Objetivo Geral .....	24
1.3. Objetivos Específicos .....	24
1.4. Materiais e Métodos.....	24
1.4.1. Área de Estudo .....	24
1.4.2. Coleta e Análise de Dados .....	27
1.5. Referências Bibliográficas.....	38
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	42
Unraveling the first steps of juvenile Atlantic goliath grouper <i>Epinephelus itajara</i> (Perciformes: Epinephelidae) in a tropical estuary at the southwestern Atlantic coast .....	43
Abstract .....	44
2.1. Introduction .....	45
2.2. Materials and Methods .....	46
2.3. Results .....	48
2.4. Discussion .....	50
2.5. References .....	53
2.6. Acknowledgements .....	56
2.7. Funding .....	56
2.8. Authorship .....	56
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	57
Habitat use of juvenile Atlantic goliath grouper <i>Epinephelus itajara</i> : a critically endangered species in Brazil.....	58
Abstract .....	59
3.1. Introduction .....	60
3.2. Materials and Methods .....	61
3.3. Results .....	64
3.4. Discussion .....	67
3.5. References .....	70
3.6. Acknowledgments .....	72
3.7. Funding .....	72
3.8. Authorship .....	72
Considerações Finais .....	74
4.1. Referências Bibliográficas .....	77

# CAPÍTULO I

**O Mero *Epinephelus itajara*: breve  
apresentação sobre uma espécie rara e  
criticamente ameaçada de extinção que  
ocorre no litoral capixaba**



## CAPÍTULO I

### **O Mero *Epinephelus itajara*: breve apresentação sobre uma espécie rara e criticamente ameaçada de extinção que ocorre no litoral capixaba**

O Mero *Epinephelus itajara* (Lichtenstein 1822) (Figura 1) é um peixe marinho que habita regiões tropicais e subtropicais do Oceano Atlântico. A espécie está presente no Oceano Atlântico Oeste na costa da Flórida, no Golfo do México, no Mar do Caribe e ao longo da costa da América do Sul, tendo como limite de distribuição ao sul o litoral do estado de Santa Catarina, no Brasil (Hostim-Silva et al. 2005; Craig et al. 2009; Bertoncini et al. 2018). No Oceano Atlântico Leste, a espécie já foi registrada de forma esparsa entre a costa do Senegal e a região de Cabinda, em Angola (Craig et al. 2009; Friedlander et al. 2014; Bertoncini et al. 2018) e no Oceano Atlântico Central o Mero já foi documentado na Ilha de Ascensão, localizada sobre a cordilheira dorsal mesoatlântica entre o Brasil e a África (Wirtz et al. 2017).



Figura 1. Mero *Epinephelus itajara* adulto fotografado em Santa Catarina, Brasil.  
Foto: Áthila Bertoncini, Projeto Meros do Brasil (2010)

O Mero, ao que se sabe até hoje, teve sua ocorrência registrada em águas brasileiras pela primeira vez (por meio de língua escrita) em 1648 na obra “*Historia Natvralis Brasiliae*” (Figura 2) em uma descrição feita em latim baseada em uma xilogravura de um espécime observado na costa do nordeste do Brasil durante as



expedições de Georg Marggraf (1610 – 1644) e Willem Piso (1611 – 1678), naturalistas a serviço de Johan Maurits van Nassau-Siegen (1604 – 1679) durante a invasão holandesa no Brasil no século XVII. Na referida obra, os naturalistas apresentam o Mero com os nomes indígenas *Juurucapeba* e *Itajara* (Marggraf & Piso 1648) e, segundo o dicionário *Tupi Antigo – Português* (Carvalho 1987), o nome *Juurucapeba* faz menção às palavras boca e foz (“Îuru = boca, bocado, boca do rio, foz; Îuru-kapeba = peixe da família dos serranídeos”); e *Itajara* em tradução livre significa “Senhor das Pedras” (“Itá = mineral sólido, pedra; Îara = senhor, amo”). Ambos os nomes em tupi antigo fazem alusão aos habitats utilizados pelo Mero nos ecossistemas costeiros e marinhos (como por exemplo estuários e ecossistemas rochosos).



Figura 2. Capa da Obra *Historia Natvralis Brasiliae*.  
Fonte: Marggraf & Piso (1648)

Em 1822, após o advento da taxonomia, o Mero foi descrito e classificado pelo

naturalista e zoólogo alemão Martin Heinrich Carl von Lichtenstein (1780 – 1857) como *Serranus itajara* (Lichtenstein 1822) baseando-se na análise de caracteres morfológicos, mas posteriormente a espécie teve sua classificação discutida e modificada ao longo da História da Ciência, com destaque aos eventos de exclusão do Mero do gênero *Serranus* Cuvier (1816) e inclusão no gênero *Epinephelus* Bloch (1793); inclusão na família Serranidae Swainson (1839) e subfamília Epinephelinae Bleeker (1874) e, por fim, a exclusão da espécie da família Serranidae e inclusão na família Epinephelidae após os estudos de filogenia molecular realizados por Smith & Craig (2007). Atualmente, o Mero é denominado cientificamente *Epinephelus itajara* (Lichtenstein, 1822) e está inserido na família Epinephelidae (Craig et al. 2012).

A família Epinephelidae inclui os peixes conhecidos popularmente no Brasil como garoupas, chernes e badejos, e o Mero pertence à subfamília Epinephelinae, que é representada por 167 espécies, incluindo os gêneros *Epinephelus* (90 espécies), *Hyporthodus* (44), *Cephalopholis* (24 espécies), *Mycteroperca* (15), dentre outros (Ma & Craig 2018). Estudos recentes baseados em análises filogenéticas demonstraram a relação próxima entre *E. itajara* (Atlântico) e *E. quinquefasciatus* (Pacífico), sendo ambas espécies formadoras do grupo irmão de *E. lanceolatus* (Indo-Pacífico) (Figura 3) (Ma & Craig 2018). Embora distribuída amplamente pelo Oceano Atlântico, a provável origem da família Epinephelidae é o Indo-Pacífico e, dessa região, grupos de peixes dispersaram-se e alcançaram o Oceano Atlântico através de diferentes rotas ao longo da história evolutiva da família (Smith 1971). Em relação à presença da espécie na América do Sul, registros paleontológicos de neurocrânios de Mero encontrados na Formação Urumaco (Venezuela) revelaram a presença do gênero *Epinephelus* no continente durante o Mioceno Superior (cerca de 11.5 – 5.5 Ma), na Era Cenozóica (Aguilera & De Aguilera 2004).

O Mero é a maior garoupa do Oceano Atlântico, podendo alcançar 2 metros de comprimento e 400 kg e desempenha função ecológica importante como predador de topo na cadeia trófica marinha (Sadovy & Eklund 1999), atuando no controle populacional principalmente de crustáceos decápodes bentônicos, como por exemplo o siri azul *Callinectes* spp. (Portunidae), lagostas (Palinuridae), além de peixes como o peixe-cofre *Acanthrostracion* sp. (Ostraciidae), baiacu *Sphoeroides* spp. (Tetraodontidae), bagre *Bagre marinus* (Ariidae), raias *Dasyatis* spp. (Dasyatidae), e outros grupos como cefalópodes e quelônios marinhos (Smith 1971; Bullock et al. 1992; Sadovy & Eklund 1999; Freitas et al. 2015; Collins & Motta 2017).

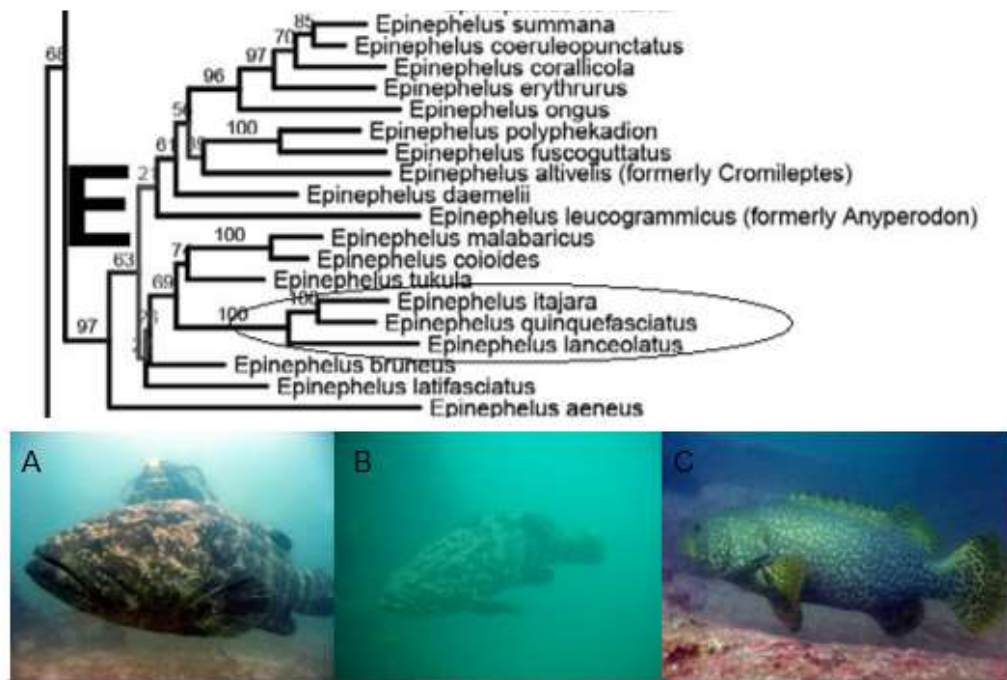


Figura 3. Trecho da hipótese para relações filogenéticas do gênero *Epinephelus*, com destaque a *E. itajara* (A), *E. quinquefasciatus* (B) e *E. lanceolatus* (C). Fonte: Adaptado de Ma & Craig (2018). Fotos: (A) Brasil, Áthila Bertoncini; (B) Colômbia, Gustavo A. Castellanos-Galindo; (C) Hong Kong, Allen W. L. To

A espécie, além de apresentar grandes dimensões, apresenta alta longevidade, existindo registros de indivíduos alcançando cerca de 40 anos. Em seu ciclo de vida, o Mero exibe migração ontogenética, isto é, durante a fase juvenil, que dura cerca de 5 a 7 anos e os indivíduos são menores que cerca de 1,1 metro, o Mero habita ambientes estuarinos rasos (principalmente manguezais) e na fase adulta migra para ambientes recifais mais profundos, vivendo associado principalmente a recifes rochosos, recifes de corais, naufrágios e plataformas artificiais (Bullock et al. 1992; Sadovy & Eklund 1999; Frias-Torres 2006; Koenig et al. 2007). A espécie possui hábito solitário, porém, na fase adulta dezenas de machos e fêmeas se agrupam em épocas específicas formando agregações com finalidade reprodutiva, como observado por Koenig et al. (2016) na Flórida e por Bueno et al. (2016) no Paraná e em Santa Catarina, no sul do Brasil. Durante a desova, que ocorre no ambiente marinho, machos fertilizam os ovos lançados na coluna d'água pelas fêmeas e destes ovos eclodem larvas planctônicas, que são transportadas pelas correntes e podem alcançar ecossistemas costeiros e encontrar ambientes favoráveis para o seu desenvolvimento, como os estuários. Nos estuários, as larvas continuarão seu desenvolvimento alcançando a fase de pós-larva até chegar a fase juvenil e continuar o ciclo de vida da espécie (Figuras 4 e 5) (Koenig et al. 2007; Lara et al. 2009). No Brasil, há registros de Meros adultos retornando a manguezais (M. Freitas com. Pessoal)



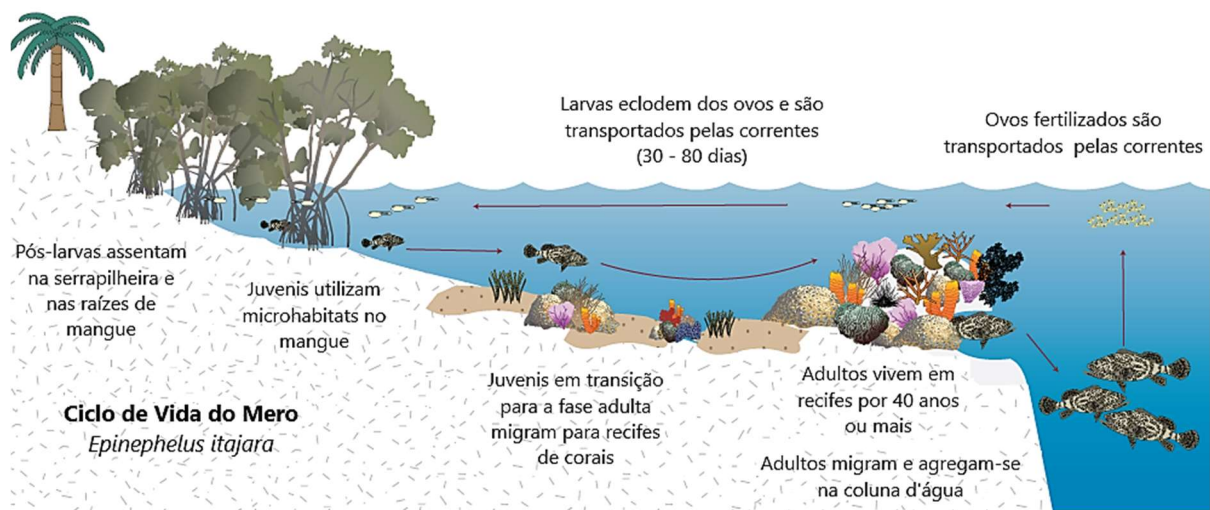


Figura 4. Esquema do ciclo de vida do Mero, mostrando a ontogenia e a conexão entre ecossistemas recifais e o manguezal. Fonte: Adaptado de Frias-Torres (2012) em: Tropical Connections – South Florida's marine environment. Kruckzynski & Fletchers (eds.)

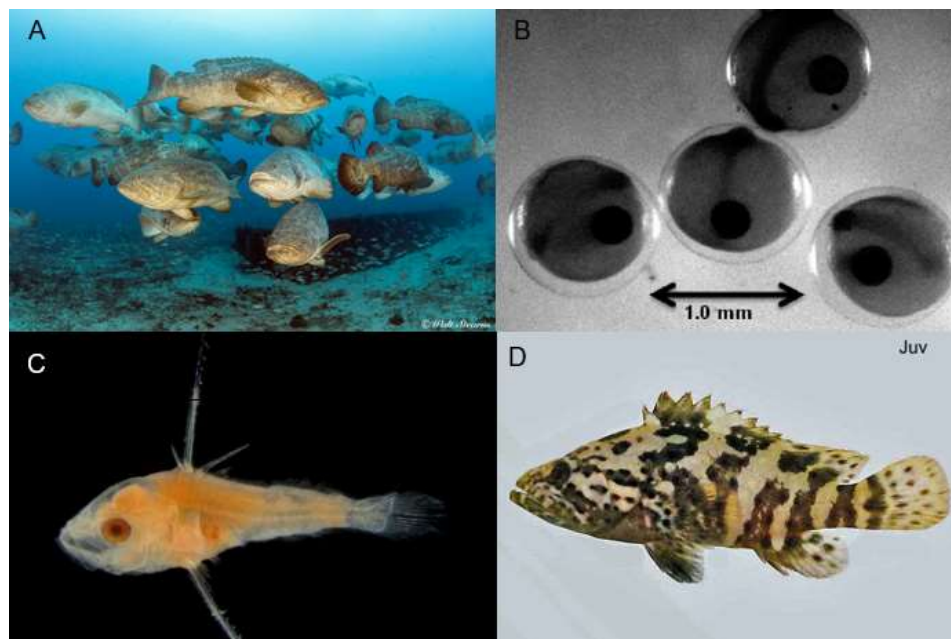


Figura 5. A. Agregação reprodutiva de Meros adultos na Flórida. Foto: Walt Stearns (South Florida Underwater Photography); B. Ovos de Mero em fase de nêurula. Foto: Koenig et al. (Florida State University); C. Larva de Mero. Foto: Claudia Namiki (Universidade de São Paulo); D. Mero juvenil. Foto: J. Van Tassel & D. Robertson (Smithsonian Tropical Research Institute)

O Mero, apesar de sua imponência, possui algumas características intrínsecas que podem contribuir para sua vulnerabilidade à captura e à extinção: alcance da maturidade de forma tardia (5 – 7 anos), crescimento lento durante a fase adulta, alto grau de fidelidade ao habitat e formação de agregações reprodutivas contendo dezenas de indivíduos, o que torna a espécie um fácil alvo para a pesca quando encontrada em momentos de desova (Bullock et al. 1992; Sadovy & Eklund 1999; Hostim-Silva et al. 2005).



Devido à sobrepesca e à fragmentação e perda da qualidade ambiental de manguezais, a espécie sofreu declínios populacionais consideráveis e atualmente está classificada mundialmente como "Vulnerável - VU" de acordo com a União Internacional para a Conservação da Natureza – IUCN (Bertoncini et al. 2018) e nacionalmente como "Críticamente em Perigo - CR" de acordo com o Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (Ferreira et al. 2018). A espécie está protegida em águas sob jurisdição brasileira desde 2002 (Hostim-Silva et al. 2005) e em 2015 foi instituída a Portaria N° 13/2015 do extinto Ministério da Pesca e Aquicultura, que renova por oito anos a proibição da captura, transporte, desembarque, armazenamento e comercialização da espécie em todo o território nacional e cuja expiração da validade está prevista para o ano de 2023 (Brasil 2015).

Apesar da legislação nacional proteger o Mero, devido à grande extensão da costa brasileira, existe a dificuldade de fiscalização da captura ilegal da espécie e do cumprimento da normativa. A nível nacional, dados coletados sobre a captura de Mero nas frotas artesanais e industriais entre 2003 e 2011 (Giglio et al. 2014) apontaram a captura média de 393 toneladas de Mero por ano e a nível regional, dados de pesca coletados entre 2001 e 2007 também indicaram quantidades elevadas de captura, com destaque aos estados do Pará (3.191 toneladas) e da Bahia (1.699 toneladas). Para o estado do Espírito Santo, os dados indicaram um total de desembarque de 127,5 toneladas entre os anos de 2001 e 2006, oriundos exclusivamente da pesca artesanal (Giglio et al. 2014). Ademais, pesquisas realizadas na área da etnoictiologia na região do Banco de Abrolhos (Nova Viçosa e Caravelas, extremo sul da Bahia) revelaram decréscimo de cerca de 40% na abundância da espécie segundo a percepção dos pescadores em relação à abundância de Mero no início da sua vida na atividade pesqueira (Zapelini et al. 2017) e, mais recentemente, pesquisas na costa Amazônica indicaram que a espécie continua sendo capturada de forma incidental por embarcações industriais que atuam na pesca do camarão rosa *Farfantepenaeus subtilis* e *F. brasiliensis* na plataforma continental adjacente aos estados do Pará e do Amapá (Bentes et al. 2019).

O Espírito Santo apresenta escassez de dados oficiais atualizados sobre a captura do Mero, todavia, na região norte do estado há importante participação de pescadores artesanais no processo de comunicação de captura incidental da espécie e de avistamento de encalhe de indivíduos em áreas de manguezais e praias (PMB 2022) (Figuras 6 e 7).



Figura 6. Registro de dois indivíduos encontrados encalhados mortos no manguezal do estuário do Rio Cricaré, Conceição da Barra – Espírito Santo. A. Indivíduo juvenil. Foto: Rodrigo Augusto Moreno Santos (2021). B. Provável indivíduo adulto trazido pela maré ao estuário. Foto: Pescadora Juliana Lopes Clarindo (2021)



Figura 7. Registro de indivíduo adulto (180 cm comprimento total) encontrado encalhado morto na Praia de Guriri, São Mateus – Espírito Santo. Fotos: A. e B. Rodrigo Augusto Moreno Santos (2021)

No norte do Espírito Santo, juvenis de Mero (foco do presente estudo) (Figura 8) já foram registrados em manguezais associados aos estuários dos rios Mariricu (Barra Nova, São Mateus), Cricaré (Conceição da Barra) e Itaúnas (Conceição da Barra) (Hostim-Silva et al. 2013; Damasceno et al. 2015; Hostim-Silva et al. 2018; Almeida et al. 2022). Frias-Torres (2006) investigando o uso do habitat por juvenis de Mero em manguezais, sugere que a espécie é de ocorrência rara em manguezais devido à diminuição das populações da espécie, até mesmo na região da Flórida, exceto no Refúgio de Vida Silvestre de Ten Thousand Islands (sudoeste da Flórida), conhecido centro de ocorrência e abundância de juvenis da espécie a nível mundial. Koenig et al. (2007), analisando a importância dos manguezais para a fase juvenil do Mero em Ten Thousand Islands, definem que os manguezais com qualidade de água adequada atuam como berçários essenciais para espécie, visto que os juvenis habitam estes ecossistemas utilizando sua complexidade estrutural como área de refúgio, alimentação e crescimento até o alcance da maturidade.



Figura 8. Mero juvenil capturado e devolvido ao estuário do Rio Cricaré, município de Conceição da Barra – Espírito Santo. Foto: Tainara Fonseca Simões, Projeto Meros do Brasil (2019)

O presente trabalho, que visa registrar a ocorrência e investigar o uso do habitat por juvenis de Mero em um estuário no norte do Espírito Santo, justifica-se devido à importância ecológica da espécie para os ecossistemas costeiros e marinhos, aliada à sua rara ocorrência, ao alto risco de extinção da espécie no Brasil e à escassez de pesquisas ecológicas publicadas sobre a fase juvenil do Mero. A maior ameaça para a espécie está relacionada à atividade humana e trabalhos que visam descrever o uso do habitat por juvenis são importantes para gerar dados que possam auxiliar ações visando a conservação do Mero, visto que a fase juvenil é a fase mais crítica para o sucesso da espécie devido à alta probabilidade de mortalidade por pesca.

### **1.1. Hipótese de Pesquisa**

O Mero, espécie rara e criticamente ameaçada de extinção no Brasil, habita o estuário do Rio Cricaré durante as primeiras etapas da fase juvenil, utiliza diferentes tipos de habitats no manguezal e as variáveis ambientais da coluna d'água (pH, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e profundidade) exercem influência sobre a distribuição espacial de juvenis no estuário.

## **1.2. Objetivo Geral**

O objetivo principal do trabalho foi registrar a ocorrência de juvenis de Mero e descrever o uso do hábitat no estuário do Rio Cricaré, na costa norte do estado do Espírito Santo, Brasil.

## **1.3. Objetivos Específicos**

A presente pesquisa apresenta cinco objetivos específicos, organizados da seguinte forma ao longo da Dissertação:

### Capítulo II

1. Registrar a ocorrência de juvenis no estuário;
2. Determinar a taxa de recaptura de juvenis ao longo do tempo;
3. Determinar a relação comprimento-peso, o padrão de crescimento e a relação entre o comprimento padrão e o comprimento total dos juvenis capturados;

### Capítulo III

4. Investigar se há diferença significativa na abundância de juvenis em três habitats de morfologia distinta: laguna estuarina (largura máxima 320 m); riacho de largura média (40 m); e riacho estreito (10 m);
5. Investigar se as variáveis ambientais da água (salinidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e profundidade) exercem influência na presença de juvenis nos três habitats anteriormente mencionados.

## **1.4. Materiais e Métodos**

### **1.4.1. Área de Estudo**

O estudo foi realizado no baixo curso do estuário do Rio Cricaré (Figura 9), localizado no município de Conceição da Barra, no litoral norte do estado do Espírito Santo (18°60S, 39°74W). O Rio Cricaré (também denominado Rio São Mateus) é formado

pela confluência dos Rios Cricaré e Cotaxé, que possuem suas nascentes no estado de Minas Gerais e suas águas se encontram nas proximidades do município de São Mateus (Espírito Santo) até desaguar no Oceano Atlântico em Conceição da Barra (Figura 10). A região está inserida no domínio climático tropical úmido, com temperatura anual média de 23,9 °C e é caracterizada por um déficit hídrico durante o inverno, que pode alcançar até o início da primavera (IEMA 2014).

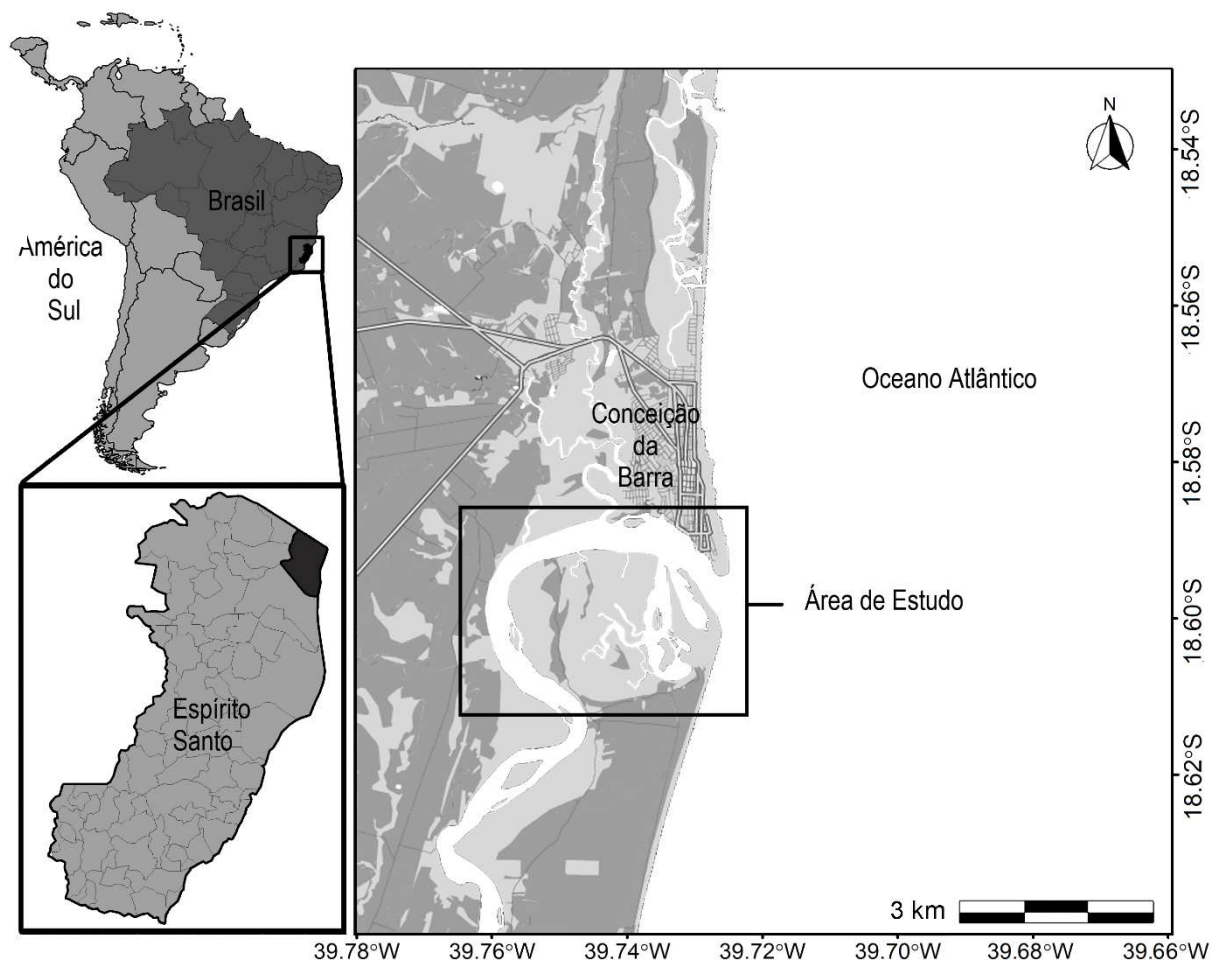


Figura 9. Área de Estudo: Estuário do Rio Cricaré.  
Elaborado por Jonas Vasconcelos (2021)

A região marinha do norte do Espírito Santo sofre influência da Corrente do Brasil, corrente de convecção de sentido norte-sul (Silveira 2000; IEMA 2014) e se encontra sob influência do regime de mesomarés semidiurnas com amplitude de maré média de 2 metros (Albino et al. 2016). A plataforma continental na altura do município de Conceição da Barra estende-se por cerca de 200 km e está inserida na porção sul do Banco dos Abrolhos (IEMA 2014), pertencendo à Província Norte (I) da plataforma continental do Espírito Santo, que possui sua origem relacionada a processos vulcânicos ocorridos



durante o Eoceno (Albino et al. 2016) (Figura 11). O Banco dos Abrolhos é a região de maior biodiversidade do Oceano Atlântico Sul e possui ecossistemas recifais importantes para a conservação do Mero, como os recifes do sul da Bahia e os manguezais adjacentes (Zapelini et al. 2017) e os recentemente descobertos recifes de corais do norte do Espírito Santo, onde a ocorrência do Mero foi reportada (Mazzei et al. 2016).



Figura 10. Foz do Rio Cricaré: manguezal em primeiro plano (à esquerda) e zona urbana de Conceição da Barra ao fundo. Foto aérea: Diego Henrique Santos (2021)

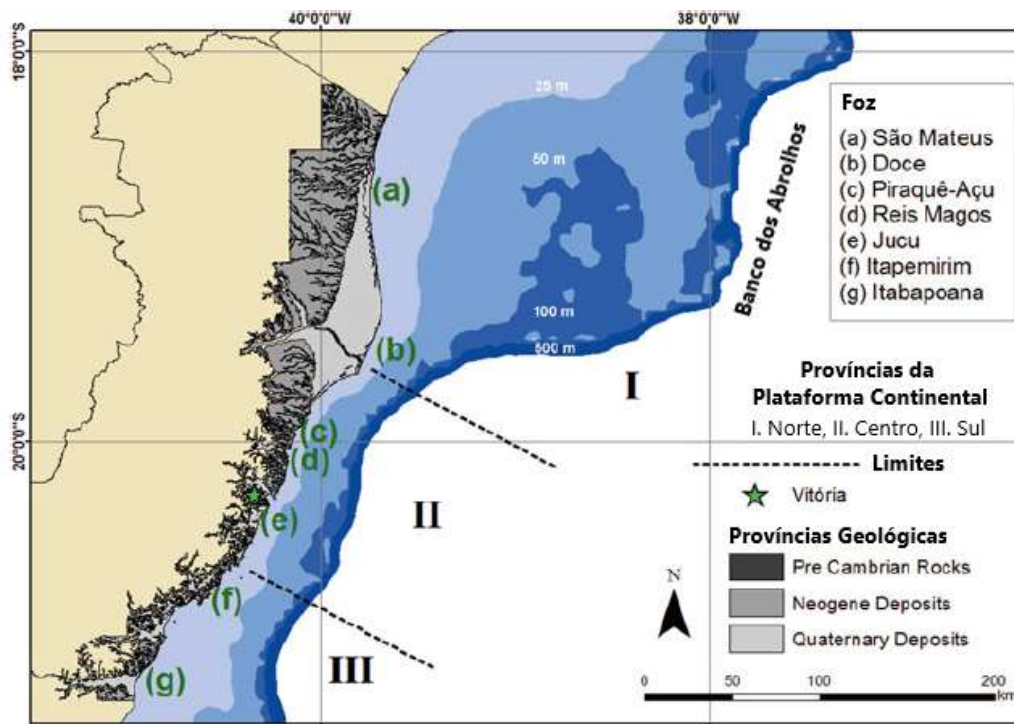


Figura 11. Províncias da Plataforma Continental e Províncias Geológicas do Espírito Santo. Fonte: adaptado de Albino et al. (2016)

A área de estudo está inserida na Área de Proteção Ambiental de Conceição da Barra (APA), Unidade de Conservação (UC) que possui 7.728 ha de extensão, criada em 1998 pelo decreto estadual nº 7.305-E e instituída oficialmente no ano de 2007 pelo decreto estadual nº 1.876-R. O bioma presente é a Mata Atlântica, importante *hotspot* de biodiversidade e área prioritária para a conservação, representado na área de estudo principalmente pelas restingas e pelos manguezais (IEMA 2014). Os manguezais do baixo curso do Rio Cricaré apresentam florestas de mangue bem desenvolvidas e possuem os bosques de franja dominados pelas espécies *Rizophora mangle* e *Laguncularia racemosa* (Vale & Ross 2011; Tognella et al. 2020), estabelecidas sobre sedimentos do tipo areia, silte e argila, distribuídos em diferentes proporções ao longo do estuário (Vale et al. 2020). Segundo Hostim-Silva et al. (2013), a ictiofauna do baixo curso do Rio Cricaré é composta por 44 espécies, sendo as famílias mais representativas as famílias Scianidae (7 espécies), Gerreidae (3), Engraulidae (3), Carangidae (3) e Haemulidae (3).

#### 1.4.2. Coleta e Análise de Dados

##### *Metodologia utilizada para o Capítulo II*

Para alcançar os objetivos propostos para o Capítulo II (registro da ocorrência de juvenis de Mero, taxa de recaptura ao longo do tempo, relação comprimento-peso, padrão de crescimento e relação entre o comprimento padrão e o comprimento total), foram realizadas 28 expedições de campo durante os períodos de abril a novembro de 2015 e março de 2018 a outubro de 2019, sob autorização do ICMBio através da licença nº 15080-7.

*Captura:* os indivíduos juvenis foram capturados em coletas de campo mensais realizadas no estuário utilizando embarcação motorizada de madeira (bote) com a utilização de covos (Figura 12), que são artes de pesca passivas (armadilhas) utilizadas tradicionalmente pelas pescadoras locais para a captura do siri azul *Calinectes spp.* Os covos são constituídos por armações metálicas de vergalhões fundidos em formato de paralelepípedo, envolvidas por malha plástica hexagonal costurada por cordas de *nylon* e fio torcido em suas arestas e vértices, contendo três laterais com aberturas em forma de funil (bocas, localmente denominadas sangas). As bocas em forma de funil permitem que os peixes entrem facilmente, havendo dificuldade para realização do caminho inverso (Rebordão 2000). Na lateral restante, está contida uma porta que pode ser aberta no

momento de retirada dos indivíduos capturados e na face superior o covos possui uma porta que dá acesso a um compartimento feito de garrafa PET onde é acondicionada a isca, que foi constituída por peixes diversos. Durante as coletas, foram utilizados covos de diferentes dimensões, malhagens e tamanhos de bocas, que foram instalados no fundo do canal estuarino, presos por cordas às raízes de *R. mangle* ou presos a estacas fundeadas na região central do canal (distante das raízes de mangue). A escolha dos locais de fundeamento das armadilhas foi feita baseada em locais indicados pelos pescadores (as) locais, que são importantes informantes de captura incidental de juvenis na região e, além das coletas utilizando covos, foram recebidos indivíduos juvenis vivos capturados incidentalmente por pescadores (as) artesanais locais utilizando diferentes artes de pesca, tais como rede de emalhar, tarrafa e espinhel.



Figura 12. Pescadora Juliana Lopes Clarindo manuseando covos utilizados nas coletas de juvenis de Mero durante os anos de 2015, 2018 e 2019. Foto: Rodrigo Augusto Moreno Santos (2020)

**Biometria:** os indivíduos capturados foram pesados com a utilização de balança com precisão de 1 g e tiveram o comprimento total (CT, mm) e o comprimento padrão (CP, mm) medidos com o auxílio de um ictiômetro contendo água do estuário (Figura 13A). O CT é o comprimento medido desde o focinho até a extremidade da nadadeira caudal e o CP é medido do focinho até o final do pedúnculo caudal, excetuando-se a nadadeira caudal (Figura 13B). As medições foram realizadas com o peixe em posição anatômica com a boca fechada e com o focinho encostado na extremidade do ictiômetro.



**Marcação:** os indivíduos que possuíam comprimento total maior que 10 cm foram marcados individualmente utilizando microchips do tipo *pit tags* (*passive integrated transponders*) de dimensões 8 x 1,4 mm inseridos via subcutânea na região dorsal do animal (abaixo do 3º espinho da 1ª nadadeira dorsal) com auxílio de uma seringa (Figura 13C-D). Cada *pit tag* continha um número único que que tornava o indivíduo identificável caso fosse recapturado posteriormente, providenciando importantes dados sobre marcação-recaptura. Todo procedimento foi realizado em tanques de aeração contínua contendo água estuarina contendo óleo de cravo (3mL/10L) como anestésico e os peixes receberam tratamento tópico com álcool iodado no local de inserção do microchip. Todos os indivíduos ficaram em observação após o procedimento e foram devolvidos ao estuário após recuperação da ação do anestésico.

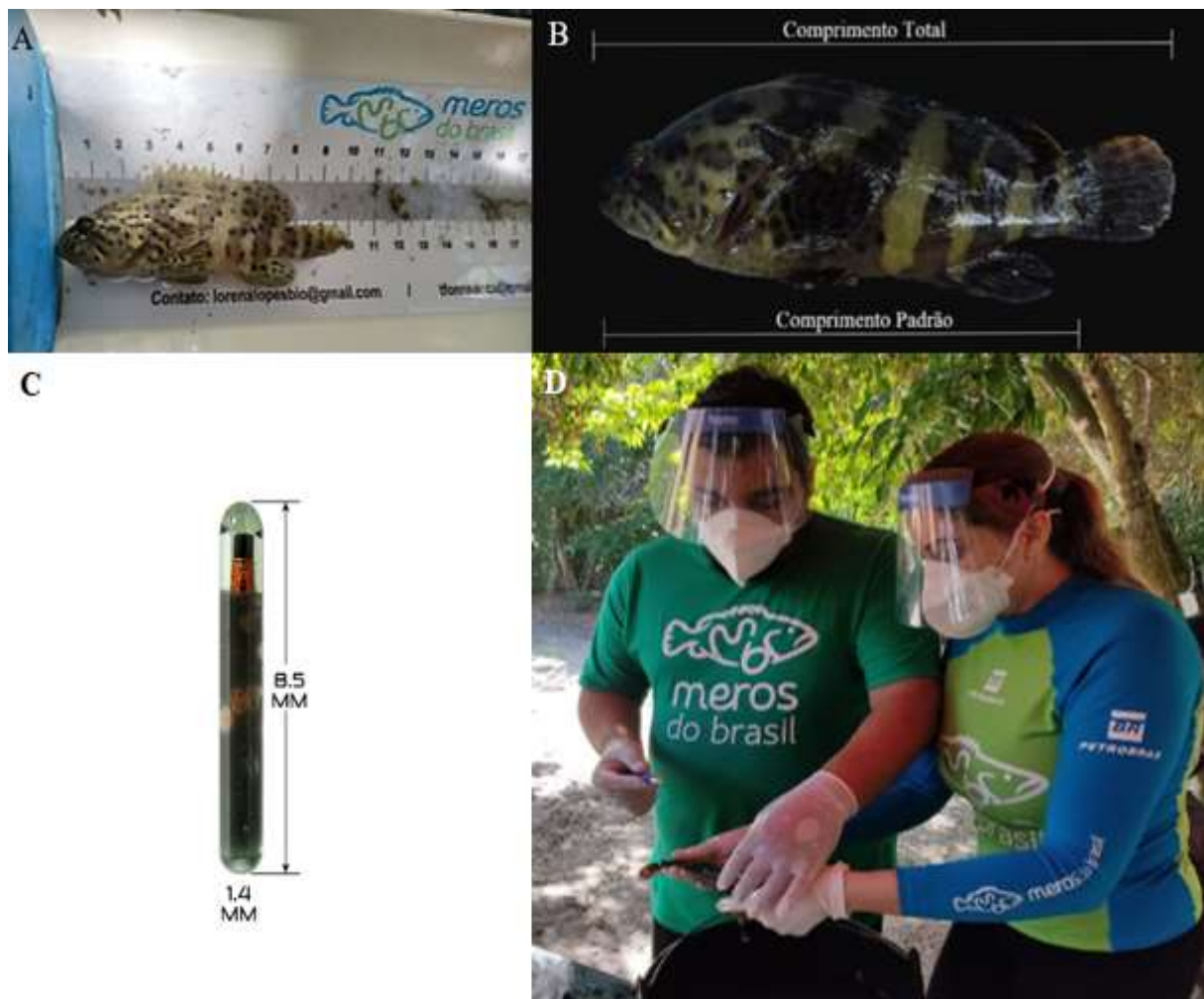


Figura 13. Imagem ilustrativa da biometria e da marcação de um indivíduo juvenil utilizando ictiômetro e *pit tag*. Fotos: A. Lorena Lopes Almeida (2019), B. Rodrigo Augusto Moreno Santos (2020), C. Microchip Partners® (2022), D. Rafael Lima Oliveira (2021)

**Análise de Dados:**

**Taxa de recaptura:** a taxa de recaptura foi obtida através da equação:  $TR = (NR / NM) \times 100$ , onde: TR = taxa de recaptura, NR = número total de indivíduos marcados recapturados e NM = número total de indivíduos marcados.

**Relação Comprimento-Peso e Padrão de Crescimento:** a relação comprimento-peso foi obtida através de Modelo Linear (LM) por meio da equação potencial  $W = a \times L^b$ , após logaritmização ( $\ln W = \ln a + b \ln L$ ), onde: W = peso, L = comprimento (CT ou CP), a = intercepto e b = coeficiente angular da regressão linear (Le-Cren 1951; Froese 2006). Esse Modelo Linear permite prever o peso de um indivíduo (variável dependente) em função do seu comprimento mensurado em campo (variável independente), que pode ser representado pelo comprimento total (CT) ou pelo comprimento padrão (CP) do peixe e, da mesma forma, pode-se estimar o comprimento de um indivíduo quando o seu peso tiver sido mensurado. (Le-Cren 1951; Froese 2006). Para essa análise, foram estimados os limites de confiança de 95% para os valores estimados para a e b, foi realizada análise de *outliers* para busca de dados discrepantes do modelo linear, além do coeficiente de determinação da regressão ( $r^2$ ), que é uma medida de ajuste do modelo estatístico que varia de 0 a 1, e pressupõe-se que quanto mais próximo de 1 (100%), mais os dados coletados podem ser explicados pelo modelo preditivo da regressão linear.

A relação comprimento-peso permite estimar o padrão de crescimento da população estudada, de acordo com os valores do coeficiente angular obtido: quando um indivíduo, ao longo do tempo, tem acréscimos de peso e de comprimento proporcionais ( $b = 3$ ), diz-se que o crescimento é do tipo isométrico; quando há acréscimo maior em comprimento e menor em peso, o crescimento é do tipo alométrico negativo ( $b < 3$ ); e por fim, quando o peixe tem acréscimo de peso maior que o acréscimo de comprimento, o seu padrão de crescimento é classificado como alométrico positivo ( $b > 3$ ) (Froese 2006) (Figura 14).

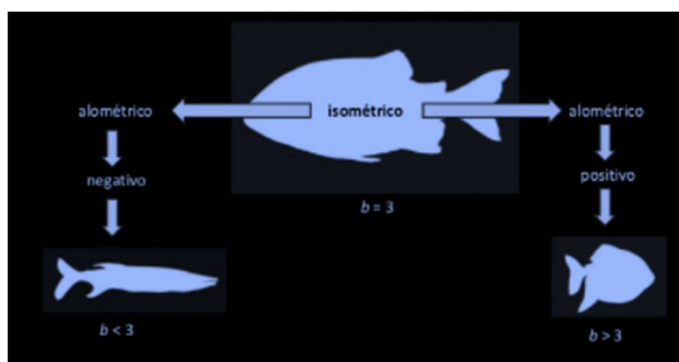


Figura 14. Esquema ilustrativo dos diferentes tipos de padrões de crescimento em peixes.  
Fonte: Luigi Dieb Magalhães (2012)

*Relação entre CP e CT:* a relação entre CP e CT foi determinada por meio da equação linear  $CP = a \times CT - b$ , onde CP = comprimento padrão, CT = comprimento total e a e b são constantes obtidas pela regressão linear (Craig 2007). Essa relação permite estimar o CT de indivíduos encontrados ocasionalmente com a nadadeira caudal ausente, auxiliando na obtenção de dados biológicos de uma população. Todas as estimativas para as equações foram realizadas em ambiente R (R Core Team 2022).

### *Metodologia utilizada para o Capítulo III*

Para alcançar os objetivos propostos para o Capítulo III (analisar se há diferença significativa na abundância de juvenis entre três habitats estuarinos morfologicamente distintos e verificar se as variáveis ambientais influenciam a presença de juvenis), foram realizadas 14 campanhas de campo durante o período de agosto de 2021 a fevereiro de 2022 sob autorização do ICMBio através da licença nº 15080-10.

*Captura:* os indivíduos juvenis foram capturados em expedições de campo quinzenais realizadas no estuário utilizando embarcação de madeira motorizada (bote) com a utilização de 06 covos distribuídos em cada um dos três sites de morfologia distinta: (A). Pontal; (B). Riacho da Lagoa, (C). Riacho das Pitangueiras (Figura 15).



Figura 15. Mapa dos pontos de coleta. Adaptado por Rodrigo Augusto Moreno Santos (2022)



Pontal (A): o ponto é caracterizado por uma reentrância de formato côncavo, localizada na porção interna da laguna estuarina, cuja largura máxima é de cerca de 320 metros e a profundidade varia entre 30 cm e 290 cm (Figuras 16 e 17).



Figura 16. Pontal A. Foto aérea: Diego Henrique Santos (2021)



Figura 17. Pontal A. Foto: Rodrigo Augusto Moreno Santos (2021)

A área possui um depósito arenoso vegetado colonizado por espécies pioneiras e cultivo de coco, além de um pequeno cultivo de ostras desativado. Além disso, o ponto é caracterizado por uma maior estabilidade frente as correntes originadas pela maré e pelo aporte de água doce, devido à morfologia ampla da laguna, à ação protetora do depósito arenoso e a maior distância até a foz. Neste ponto, foram instalados 06 covos presos a estacas fundeadas no centro da laguna (distante das raízes de mangue), devido ao fato de que as proximidades das raízes se tornam secas durante a baixa-mar, inviabilizando o

uso dos covos.

Riacho da Lagoa (B): o ponto é caracterizado por canais estuarinos estreitos cuja largura máxima é de cerca de 10 metros e a profundidade varia entre 50 e 310 cm. O ambiente é sombreado pelo dossel do bosque de mangue (Figura 18) e neste ponto, foram instalados 06 covos próximos às raízes de *R. mangle*.



Figura 18. Ponto B. Foto Rafael Lima Oliveira (2021)

Riacho das Pitangueiras (C): o ponto é caracterizado por um riacho estuarino cuja largura máxima é de cerca de 40 metros e a profundidade varia entre 78 e 315 cm. O ponto está localizado mais próximo à foz em relação aos outros pontos e neste ponto foram instalados 06 covos próximos a raízes de *R. mangle* (Figuras 19 e 20):



Figura 19. Ponto C. Foto aérea: Diego Henrique Santos (2021)





Figura 20. Ponto C. Foto aérea: Diego Henrique Santos (2021)

Os covos utilizados na área de estudo possuíam dimensões padronizadas: formato paralelepípedo, 20 cm de altura, 50 cm de largura e comprimento, malha de 3 cm nas laterais e região superior, malha de 1,5 cm na região inferior e bocas com diâmetro externo de 20 cm e diâmetro interno de 6.4 cm. O compartimento de isca foi constituído por garrafa PET e as iscas utilizadas foram peixes diversos, majoritariamente manjubas (*Engraulidae*) e siris (*Portunidae*). A escolha das dimensões dos covos foi baseada nos resultados dos trabalhos realizados nos anos anteriores quanto às classes de comprimento de juvenis capturados na área de estudo.

As coletas de campo ocorreram da seguinte forma: os covos foram instalados no 1º dia de campanha de campo e as checagens dos 18 covos começaram 72h após o horário de instalação. Este período de 72h foi definido em coletas-piloto devido à necessidade de aclimação da armadilha principalmente quanto à liberação de odor pela isca e aderência da armadilha ao sedimento. Após este período, as armadilhas foram checadas 5 vezes em uma periodicidade de 12 em 12 horas, totalizando 120 h de covos submersos a cada campanha. Foram realizadas 2 campanhas por mês e um total de 14 campanhas, totalizando 70 checagens em cada uma das 18 armadilhas (1260 checagens) e 1680 horas de covos submersos no estuário. O número de campanhas foi definido devido ao fato de a espécie ser de rara ocorrência (Frias-Torres 2006), sendo necessário grande esforço de pesca para a captura de indivíduos. A periodicidade de checagem (12/12h) foi definida de modo que caso algum indivíduo fosse capturado, não ficasse tempo em excesso sem

alimento dentro da armadilha, podendo ser ferido e/ou predado por outros indivíduos como a moreia-verde *Gymnothorax funebris* e o siri-azul *Callinectes spp.*, espécies observadas dentro dos covos durante coletas-piloto.

*Biometria e Marcação:* as etapas de biometria e marcação foram realizadas conforme descrito na metodologia utilizada para o capítulo II.

*Coleta de Dados Abióticos:* em cada uma das 1260 operações de checagem dos covos foram medidas as seguintes variáveis abióticas: profundidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e salinidade. A primeira variável foi medida com auxílio de uma régua feita de madeira com fita métrica acoplada e as outras variáveis foram obtidas através do uso de uma sonda multiparâmetro Horiba® série U-50. A escolha da utilização de régua para medição de profundidade em detrimento da utilização do multiparâmetro se deve ao fato de que um possível contato do equipamento com o sedimento e as raízes de mangue poderiam danificar o equipamento se fundeado próximo ao sedimento. Portanto, as variáveis abióticas foram medidas em uma profundidade média da coluna d'água.

#### *Análise de Dados:*

*Normalidade dos Dados:* para verificar se a abundância de juvenis (variável independente ou variável resposta) apresenta distribuição semelhante à distribuição normal (Gaussiana), foi realizado teste de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk 1965), que testa a hipótese nula ( $H_0$ ) de que uma amostra apresenta distribuição normal. A normalidade dos dados foi analisada a partir do valor de  $p$  (significância da estatística  $W$  dada pelo teste) em relação ao valor de significância padronizado de 5% ( $\alpha = 0,05$ ), e pressupõe-se que quando  $p > 0,05$  a hipótese nula não pode ser rejeitada, ou seja, os dados apresentam distribuição normal, e conseqüentemente quando  $p < 0,05$  a hipótese nula pode ser rejeitada, ou seja, os dados apresentam distribuição diferente da normal. Essa abordagem é importante pois permite definir se serão utilizados testes paramétricos ou não-paramétricos nas análises da amostra estudada.

*Distribuição Espacial:* para comparar a abundância de juvenis de Mero (variável quantitativa discreta) entre os três *sites* selecionados (Pontal, Riacho da Lagoa e Riacho das Pitangueiras) foi utilizado teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (KW) (Kruskal & Wallis 1952) seguido de teste *post hoc* de Dunn (Dunn 1964). A escolha de testes não-paramétricos se deu devido ao fato de a abundância de juvenis ser uma variável quantitativa discreta que não apresenta distribuição normal, o que é esperado para dados

oriundos de contagens (números inteiros). O teste KW é um teste de hipóteses que permite analisar se dentre três ou mais amostras independentes, no mínimo duas delas apresentam diferenças significativas entre si, tendo como hipótese nula ( $h_0$ ) a afirmação de que as amostras não apresentam diferenças significativas em relação a variável estudada (no caso do presente estudo,  $h_0$  assume que a abundância de juvenis de Mero nos três *sites* não é significativamente diferente, ou seja, os indivíduos estão distribuídos aleatoriamente no estuário). Para rejeição ou aceitação de  $h_0$ , foi analisado o valor de  $p$  (significância associada à estatística  $H$  dada pelo teste) em relação ao valor de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ), de acordo com o pressuposto de que quando  $p > 0,05$  a hipótese nula não pode ser rejeitada, e conseqüentemente quando  $p < 0,05$  a hipótese nula pode ser rejeitada. O teste *post hoc* de Dunn, realizado se o teste KW rejeita  $h_0$  (ou seja, se há diferença significativa entre os três *sites*), permite analisar quais dos três *sites* diferem significativamente entre si em relação à abundância de juvenis através de análise comparativa entre pares (no estudo, os pares comparados foram Pontal-Pitangueiras, Pontal-Riacho da Lagoa e Riacho da Lagoa-Pitangueiras). O teste resulta em probabilidades estatísticas e valores de  $p$  para cada par testado e para a análise de hipóteses foi utilizado o mesmo pressuposto de que  $p > 0,05$  e  $p < 0,05$  indicam aceitação e rejeição da  $h_0$ , respectivamente, sendo  $h_0$  a hipótese nula de que não há diferença significativa na abundância de juvenis entre os membros do par comparado.

*Caracterização dos 03 sites:* para investigar se há diferenças significativas entre as variáveis abióticas (pH, profundidade, salinidade, temperatura e oxigênio dissolvido) nos três pontos de coleta, foi realizado o mesmo procedimento descrito na análise anterior (teste não paramétrico de Kruskal-Wallis seguido de *post hoc* de Dunn).

*Influência das variáveis abióticas sobre a distribuição de juvenis:* para investigar como as variáveis abióticas influenciam a presença de juvenis nos três *sites* morfologicamente distintos selecionados no estuário, foi utilizada abordagem GLM - Modelos Lineares Generalizados (Nelder & Wedderburn 1972; Myers & Montgomery 1997), que permitem a criação de modelos de probabilidade com o objetivo de prever o comportamento de uma população através da análise de amostras coletadas, utilizando relações linearizadas entre variáveis independentes que originalmente não possuem relação linear. Os GLM podem ser utilizados em amostras cuja distribuição é não normal e tem como premissa a observação do tipo de distribuição dos dados e estrutura dos erros associados (Gaussiana, Poisson, Binomial), a utilização de um preditor linear adequado



(equação de probabilidade) e a utilização de uma função de ligação adequada. Para a criação do modelo do presente estudo, foram utilizadas as seguintes variáveis:

A). Variável Dependente (ou variável resposta, eixo Y): presença/ausência de juvenis de Mero (variável qualitativa binária, que na matriz de dados é representada por 0 = ausência e 1 = presença).

B). Variáveis Independentes (ou variáveis preditoras, eixo X): cinco variáveis abióticas quantitativas contínuas: pH, profundidade (cm), salinidade (ppt), temperatura (°C) e oxigênio dissolvido ( $\text{mgL}^{-1}$ ); e uma variável qualitativa nominal: *site*, que possui três fatores: Pontal, Riacho e Pitangueiras (3 locais de morfologia distinta).

As variáveis independentes utilizadas no modelo possuíam diferentes unidades de medida, portanto, tiveram sua escala padronizada para o funcionamento do modelo (as médias de cada variáveis foram transformadas em zero e o desvio padrão igual a 1, assim os dados menores que a média passaram a apresentar valores negativos e os dados maiores que a média passaram a apresentar valores positivos). Este método evita que o modelo apresente viés por variáveis que apresentam maiores ordem de grandeza (Zuur et al 2009).

De acordo com a natureza da variável dependente (qualitativa binária), na criação do modelo foi utilizada a família de distribuição binomial (Bernoulli), que é utilizada para dados de proporção que aceitam apenas dois cenários: 0% e 100%, em que ausência significa 0% de probabilidade de um indivíduo juvenil ser capturado na armadilha e presença indica 100% de probabilidade de um indivíduo ser capturado. Além disso, foi utilizada a função de ligação complementar log-log (cloglog), que aceita diferenças na proporção de “zeros” e “um’s” na matriz de dados, ao passo que outras funções de ligação para dados binários (ex.: probit e logit) pressupõem proporção similar de 0 e 1 na matriz ~ 50/50% (Zuur et al., 2009; Dunn & Smyth 2017).

Para verificar a possibilidade de ocorrência de colinearidade entre as variáveis independentes e evitar resultados enviesados no modelo (Dormann et al. 2013), foi feita análise de colinearidade para identificação de fatores de inflação de variação (variance inflation factors – VIF). Após cumpridas as premissas exigidas pelo GLM, foi criado o modelo linear generalizado (a) incluindo todas as variáveis independentes contínuas e suas respectivas interações com a variável qualitativa *site*. Além disso, foi criado o modelo para a hipótese nula (b),  $H_0$  = a presença de juvenis não é influenciada pelas variáveis testadas, ou seja, ocorre ao acaso:

(a)  $\text{modelo1} \leftarrow \text{glm}(\text{Presence}/\text{ntotal}) \sim \text{Site} * \text{Salinity}_p + \text{Site} * \text{Temperature}_p + \text{Site} * \text{Depth}_p + \text{Site} * \text{pH}_p + \text{Site} * \text{DO}_p, \text{family} = \text{binomial}(\text{link} = \text{"cloglog"}), \text{weights} = \text{ntotal})$

(b)  $\text{modelo1nulo} \leftarrow \text{glm}(\text{Presence}/\text{ntotal}) \sim 1, \text{family} = \text{binomial}(\text{link} = \text{"cloglog"}), \text{weights} = \text{ntotal})$

Posteriormente, o modelo1 e o modelo1nulo nulo foram comparados através de análise de variância ANOVA do tipo qui-quadrado. Havendo diferenças significativas entre os modelo1 e o modelo1nulo ( $p < 0,05$ ), rejeita-se  $h_0$  e prossegue-se com a análise do modelo1. Para analisar o modelo1 foi utilizada a metodologia de simplificação de modelos (obtenção do modelo mínimo adequado), na qual se aplica o teste ANOVA qui-quadrado no modelo e verifica-se quais variáveis preditoras (X) (e respectivas interações) apresentam influência significativa na variável resposta (Y), excluindo-se do modelo as variáveis e interações que não apresentam influência significativa. Todas as estimativas para as equações foram realizadas em ambiente R (R Core Team 2022).

## 1.5. Referências Bibliográficas

- Aguilera O, De Aguilera D (2004) Goliath grouper (Pisces: Serranidae) from the upper Miocene Urumaco formation, Venezuela. *J Paleontol* 78:1202–1206
- Albino J, Neto NC, Oliveira TCA (2016) The beaches of Espírito Santo. In: Short A and Klein AHF (eds.) *Brazilian Beach Systems*. Springer, Florida, pp 349-377
- Almeida LL, Stallings CD, Condini MV, Garcia AM, Tzadik OE, Koenig CC, Hostim-Silva M (2022) Nonlethal stable isotope analysis reveals consistent trophic growth of juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* in Brazilian estuaries. *Bull. Mar. Sci.* doi.org/10.5343/bms.2021.0025
- Bentes B, Mendes NCB, Viana CS, Romão-Júnior JGR, Silva KCA, Andrade CER, Gomes LJP, Cintra IHA (2019) Incidental catch of goliath grouper *Epinephelus itajara* (Lichtenstein, 1822) e *Epinephelus* sp (Bloch, 1793) in industrial fisheries of Brazilian northern coast: a critical endangered species. *Biota Amazonia* 9(1): 58-59
- Bertoncini AA, Aguilar-Perera A, Barreiros J, Craig MT, Ferreira BT, Koenig C (2018) *Epinephelus itajara* (errata version. 8235)
- Brasil (2015) Portaria Interministerial Ministério de Estado da Pesca e Aquicultura / Ministério de Estado do Meio Ambiente Nº 13, de 2 de outubro de 2015. DOU nº191, terça feira, 6 de outubro de 2015 – Seção 1 – p. 20
- Bueno LS, Bertoncini AA, Koenig CC, Coleman FC, Freitas MO, Leite JR, De Souza TF, Hostim-Silva M (2016) Evidence for spawning aggregations of the endangered Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* in southern Brazil. *Journal of Fish Biology* . 89(1):876-889
- Bullock LH, Murphy MD, Godcharles MF, Mitchell ME (1992) Age, growth, and reproduction of jewfish *Epinephelus itajara* in the eastern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 90(2),

- Carvalho MR (1987) Dicionário Tupi (antigo) – Português. Biblioteca Digital Kurt Nimuendajú. Salvador, Bahia, 324p
- Collins AB, Motta PJ (2017) A kinematic investigation into the feeding behavior of the Goliath grouper *Epinephelus itajara*. *Environ. Biol Fish* 100:309-323
- Craig MT (2007) Preliminary observations on the life history of the white-streaked grouper, *Epinephelus ongus*, from Okinawa, Japan. *Ichthyol. Res.* 54:81–84
- Craig MT, Graham RT, Torres RA, Hyde JR, Freitas MO, Ferreira BP, Hostim-Silva M, Gerhardinger LC, Bertoncini AA, Robertson DR. (2009). How many species of goliath grouper are there? Cryptic genetic divergence in a threatened marine fish and the resurrection of a geopolitical species. *Endanger Species Res* 7:167–174
- Damasceno JS, Siccha-Ramirez R, Morales MJA, Oliveira C, Torres RA, Costa EN, Silva-Oliveira GC, Vallinoto M, Machado LF, Tosta VC, Farro APC, Hostim-Silva M (2015) Mitochondrial DNA evidences reflect an incipient population structure in Atlantic goliath grouper (*Epinephelus itajara*, Epinephelidae) in Brazil. *Scientia Marina* 79(4):419-429
- Dormann CF, Elith J, Bacher S, Buchmann C, Carl G, Carré G, Marquéz JRG, Gruber B, Lafourcade B, Leitão PJ, Münkemüller T, McClean C, Osborne PE, Reineking B, Schröder B, Skidmore AK, Zurell D, Lautenbach S (2013) Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36: 27-46
- Dunn OJ (1964) Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics* 06(3):241-252
- Dunn PK, Smyth GK (2018) Generalized Linear Models with examples in R. Springer, New York, 562p
- Ferreira BP, Freitas MO, Bertoncini AA, Hostim-Silva M, Gerhardinger L, Nunes Z MP, Torres R., Rezende SM, Floeter SR, Ferreira CEL, Francini-Filho RB, Moura RL (2018) *Epinephelus itajara* Lichtenstein, 1822. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Ed.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI – Peixes (pp. 805-812). Brasília: ICMBio
- Freitas MO, Abilhoa V, Giglio VJ, Hostim-Silva M, De Moura RL, Francini-Filho RB, Minter-Vera CV (2015) Diet and reproduction of the goliath grouper, *Epinephelus itajara* (Actinopterygii: Perciformes: Serranidae), in Eastern Brazil. *Acta Ichthyol. Piscat.* 45(1):1–11
- Frias-Torres S (2006) Habitat use of juvenile goliath grouper *Epinephelus itajara* in the Florida Keys, USA. *Endang. Species Res.* 2:1–6
- Frias-Torres (2012) The goliath grouper is a gentle giant. In: Kruczynski WL & Fletcher PJ (eds) *Tropical Connections: South Florida's marine environment*. IAN Press, University of Maryland Center of Environmental Science, Cambridge, Maryland, pp 357-359
- Friedlander AM, Ballesteros E, Fay M, Sala E (2014) Marine communities on oil platforms in Gabon, West Africa: High biodiversity oases in a low biodiversity environment. *PLoS One* 9
- Froese R (2006) Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis, and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* 22(4):241–253
- Giglio VJ, Bertoncini AA, Ferreira BP, Hostim-Silva M, Freitas MO (2014) Landings of Goliath Grouper, *Epinephelus itajara*, in Brazil: Despite Prohibited Over Ten Years, Fishing Continues. *Natureza & Conservação* 12:118–123. DOI:10.1016/j.ncon.2014.09.004
- Hostim-Silva M, Bertoncini AA, Gerhardinger LC, Machado LF (2005) The “Lord of the Rock’s” conservation program in Brazil: The need for a new perception of marine fishes. *Coral Reefs* 24:74
- Hostim-Silva M, Lima AC, Damasceno J, Sciarretta T, Silva JV, Bot Neto RL, Carvalho BM,

- Spach HL (2013) As assembleias de peixes dos estuários de Conceição da Barra e Barra Nova, Espírito Santo. *Tropical Oceanography* 41(n. 1-2):132-153
- Hostim-Silva M, Bertoncini AA, Borgonha M, Leite JR, Freitas MO, Daros FA, Bueno Farro APC, Keonig CC (2018) The Atlantic Goliath Grouper: Conservation Strategies for a Critically Endangered Species in Brazil. In: M.R. Rossi-Santos, C.W. Finkl (eds.), *Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America*, Coastal Research Library 22
- IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2014) Plano de Manejo da APA de Conceição da Barra – Resumo Executivo. Governo do Estado do Espírito Santo, 47p
- Koenig CC, Bueno LS, Coleman FC, Cusick JA, Ellis RD, Kingon K, Locascio JV, Malinowski C, Murie DJ, Stallings CD (2016) Diel, lunar, and seasonal spawning patterns of the Atlantic goliath grouper, *Epinephelus itajara*, off Florida, United States. *Bull Mar. Sci.* (92)0
- Koenig CC, Coleman FC, Eklund AM, Schull J, Ueland J (2007) Mangrove as essential nursery habitat for goliath grouper (*Epinephelus itajara*). *Bulletin of Marine Science* 80(3):567-586
- Kruskall WH, Wallis WA (1952) Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 260(47):583-621
- Lara MR, Schull J, Jones DL, Allman R (2009) Early life history stages of goliath grouper *Epinephelus itajara* (Pisces: Epinephelidae) from Ten Thousand Islands, Florida. *End. Species Res.* 7(3):221–228
- Le-Cren ED (1951) The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the Perch (*Perca fluviatilis*) *Journal of Animal Ecology* 20(2): 201-219
- Lichtenstein, MHC (1822) Die Werke von Marcgrave und Piso Über die Naturgeschichte Brasiliens, erläutert aus den wieder aufgefundenen Original-Abbildungen. *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1820-21: 267–288
- Ma, KY, Craig MT (2018) An Inconvenient Monophyly: An Update on the Taxonomy of the Groupers (Epinephelidae). *Copeia* 106:443–456
- Marggraf, G., & Piso, W (1648) *Historia Natvralis Brasiliae ... :in qua non tantum plantae et animalia, sed et indigenarum morbi, ingenia et mores describuntur et iconibus supra quingentas illustrantur.* <https://doi.org/10.5962/bhl.title.565>
- Mazzei EF, Bertoncini AA, Pinheiro HT, Machado LF, Vilar CC, Guabiroba HC, Costa TJF, Bueno LS, Santos LN, Francini-Filho RB, Hostim-Silva M, Joyeux JC (2016) Newly discovered reefs in the southern Abrolhos Bank, Brazil: Anthropogenic impacts and urgent conservation needs. *Marine Pollution Bulletin* 114(1):123-133
- Myers RH, Montgomery DC (1997) A tutorial on Generalized Linear Models. *Journal of Quality Technology* 29(3):274-291
- Nelder JA, Wedderburn RWM (1972) Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society* 135(3):370-384
- PMB (2022) Projeto Meros do Brasil. Available from: <https://www.merosdobrasil.org/>
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <https://www.R-project.org/>
- Rebordão FR (2000) Classificação de artes e métodos de pesca. *Publicações Avulsas do IPIMAR n°4*, 49p
- Sadovy Y, Eklund AM (1999) Synopsis of biological data on the Nassau grouper, *Epinephelus striatus* (Bloch, 1792), and the jewfish, *E. itajara* (Lichtenstein, 1822). NOAA Technical Report NMFS 146

- Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3-4): 591-611
- Silveira ICA, Schmidt AC, Campos EJD, Godoi SS, Ikeda Y (2000) A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Rev. Bra. Ocean.* 48(2):171-183
- Smith CL (1971) Revision of the American Groupers: *Epinephelus* and Allied Genera. *Bull Am Museum Nat Hist* 146:67–242
- Smith WL, Craig MT (2007) Casting the percomorph net widely: The importance of broad taxonomic sampling in the search for the placement of serranid and percoid fishes. *Copeia* 35–55
- Tognella MMP, Leopoldo RVS, Oliveira CP, Pascoalini SS, Silva ED (2020) Diversidade estrutural das florestas de mangue da costa central e norte do Espírito Santo: contribuições para entendimento de funções ecossistêmicas. *Enciclopédia Biosfera* 17(33):178–193
- Vale CC, Ross JLS (2011) As transformações morfológicas e fitogeográficas do Estuário do Rio São Mateus, litoral norte do estado do Espírito Santo, entre 1970 e 2008. *Revista do Departamento de Geografia – USP* 21:03-23
- Vale CC, Ross J, Oliver-Batalha M, Wanderley TC (2020) Dinâmica geomorfológica e fitogeográfica do estuário do Rio São Mateus (ES): estudo de caso. In: Muehe D, Linsde-Barros FM and Pinheiro LS (eds). *Geografia Marinha: Oceanos e Costas na perspectiva de Geógrafos*. PPGM, Rio de Janeiro, pp.104–129
- Wirtz P, Bingeman J, Bingeman J, Fricke R, Hook TJ, Young J (2017) The fishes of Ascension Island, central Atlantic Ocean-new records and an annotated checklist. *J Mar Biol Assoc United Kingdom* 97:783–798
- Zapelini C, Giglio VJ, Carvalho RC, Bender MG, Gerhardinger LC (2017) Assessing Fishing Experts' Knowledge to Improve Conservation Strategies for an Endangered Grouper in the Southwestern Atlantic. *Journal of Ethnobiology* 37(3): 478-493
- Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, S AA, Smith GM (2009) *Mixed effects models and extensions in Ecology with R*. Springer, New York, 574p

# CAPÍTULO II

**Unraveling the first steps of juvenile Atlantic  
goliath grouper *Epinephelus itajara*  
(Perciformes: Epinephelidae) in a tropical  
estuary at the southwestern Atlantic coast**



## CAPÍTULO II

### **Unraveling the first steps of juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* (Perciformes: Epinephelidae) in a tropical estuary at the southwestern Atlantic coast**

Rodrigo Augusto Moreno-Santos<sup>1,2,3</sup>, Mario Vinicius Condini<sup>1,2,3</sup>, Lorena Lopes Almeida<sup>1,3,4</sup>, Marcelo Soeth<sup>1,5</sup>,  
Áthila Andrade Bertoncini<sup>3,6,7</sup> & Mauricio Hostim-Silva<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Laboratório de Ecologia de Peixes Marinhos - LEPMAR, BR 101, Km 60, São Mateus, ES, Brazil. CEP: 29932-540

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Av. Fernando Ferrari, nº 514, Vitória, ES, Brazil. CEP: 29075-910

<sup>3</sup> Instituto Meros do Brasil, Rua Benjamin Constant, nº 67, Conj. 1104, Curitiba, PR, Brazil. CEP: 80060-020

<sup>4</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Av. Fernando Ferrari, nº 514, Vitória, ES, Brazil. CEP: 29075-910

<sup>5</sup> Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, P.O 61, Pontal do Paraná, PR, Brazil. CEP: 83255-976

<sup>6</sup> Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ecoturismo e Conservação, Av. Pasteur, nº 458, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. CEP: 22290-240

<sup>7</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Campus Universitário, s/n, Florianópolis, SC, Brazil. CEP: 88040-900

Artigo aceito pela revista Marine Biology Research em 07/07/2022

Short Report

ISSN 1745-1000

Qualis CAPES B1 – Ciências Ambientais

Fator de Impacto 1.298

## **Abstract**

The Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* is the largest grouper in the Atlantic Ocean, currently classified as vulnerable by IUCN red list. The present study aimed to assess the occurrence of juvenile Atlantic goliath grouper in a tropical estuary (Cricaré estuary) on the southeastern Brazilian coast. The sample collections were performed from April to November 2015 and from March 2018 to October 2019. A total of 265 juveniles ranging from 5.4 to 50.5 cm were sampled, from which 148 individuals were tagged using pit tags. Seventeen (11.5%) of the total tagged individuals were recaptured at least once over time, with two specimens recaptured on two different occasions. Some recaptures occurred in less than a week, while others occurred after six months. The length-weight-relationship of all juveniles resulted in a negative allometric growth pattern. These findings suggest that the estuary represents a suitable and important habitat for juvenile Atlantic goliath grouper.

Keywords: Conservation, Endangered species, Non-lethal methodology, Reef fish



## 2.1. Introduction

The Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* (Lichtenstein 1822) is the largest grouper in the Atlantic Ocean, reaching up to 2.5 m and 400 kg, living for at least 37 years and occupying the position of top predator in marine and coastal ecosystems (Bullock et al. 1992; Sadovy and Eklund 1999). Due to overfishing and the loss and/or fragmentation of mangrove habitats, the species suffered significant population declines and is currently classified worldwide as “Vulnerable - VU” by IUCN (Bertoncini et al. 2018), and “Critically Endangered - CR” in the Brazilian national assessment (Ferreira et al. 2018). The species has been protected in Brazilian waters since 2002 (Ordinance N°13/2015) and was the first marine fish to receive a fishing moratorium in Brazil (Hostim-Silva et al. 2005). The species inhabits the Western Atlantic Ocean encompassing the Florida Coast, Gulf of Mexico, the Caribbean Sea, and throughout the coast of South America towards its southernmost distribution limit in southern Brazil (Santa Catarina state) (Hostim-Silva et al. 2005; Craig et al. 2009; Bertoncini et al. 2018). In addition, there are sparse records of the Atlantic goliath grouper in the Eastern Atlantic, in the African Coast from Senegal to Cabinda, Angola (Craig et al. 2009; Friedlander et al. 2014; Bertoncini et al. 2018), and in the Ascension Island, located on the Mid-Atlantic Ridge, between Brazil and Africa (Wirtz et al. 2017).

Information about the Atlantic goliath grouper juvenile stage is scarce throughout its distribution. Indeed, most studies on the Atlantic goliath grouper ecology were focused on the adult population (Bullock et al. 1992; Gerhardinger et al. 2006; Artero et al. 2015; Bueno et al. 2016; Brewster et al. 2021), probably due to the difficulty in finding juveniles in estuarine environments. The few available studies on juveniles addressed only a few topics as distribution and habitat use and were mainly conducted on the coast of Florida. For example, it has been demonstrated that the species show ontogenetic habitat migration, inhabiting estuarine environments during their juvenile stage (up to approximately one meter and six years), emigrating to deeper rocky reef environments during their adult stage (Bullock et al. 1992; Sadovy and Eklund 1999; Koenig et al. 2007). Frias-Torres (2006) investigated the preferential habitats of juvenile Atlantic goliath grouper using visual surveys and observed them associated with red mangrove roots, mainly in erosive concave shorelines with soft sediments (sand and mud), and at depths greater than 80 cm. Moreover, Koenig et al. (2007) evaluated mangroves as essential nurseries for the species, based on abundance, density, survival, habitat association, and home range data, including studies with telemetry. Lara et al. (2009) obtained the growth curve for juvenile Atlantic

goliath grouper smaller than 9 cm standard length and described the settlement and early juvenile development stages analyzing otoliths and fish morphology. More recently, Almeida et al. (2022) used non-lethal stable isotope analysis to determine the trophic growth of juvenile Atlantic goliath grouper in two estuaries on the southeastern Brazilian coast. This study seems to be the only study on juvenile ecology available in South America so far.

The availability of suitable mangrove habitat is the primary bottleneck for Atlantic goliath grouper survival. Therefore, identifying these areas is extremely important for the conservation of the species (see Koenig et al. 2007) and, in fact, studies aiming to identify and conserve these habitats have grown in recent decades (Beck et al. 2001; Dahlgren et al. 2006; Sherman et al. 2016; Tzadik et al. 2017; Roos et al. 2020). The discovery and conservation of critical nursery areas are crucial concerning endangered species like the Atlantic goliath grouper. According to Beck et al. (2001), nursery areas support a high density of juveniles of a given species that will effectively contribute to the maintenance of the adult stock.

Little is known about the juvenile Atlantic goliath grouper distribution along the Brazilian coast. Thus, the present study assessed the occurrence of these juveniles in a tropical estuary on the southeastern Brazilian coast. Using pit tags to obtain mark-recapture data, this study provides, for the first time, information about the recapture of juveniles. Moreover, growth patterns estimated from the length-weight relationship and the relation between standard length and total length are reported. This crucial information will help to understand the habitat use and growth patterns of this endangered species during a critical phase of its life cycle and in a poorly investigated tropical region, being especially important to assist in its management. In this context, the present work provides novel information to better understand the juvenile life stage of the Atlantic goliath grouper.

## **2.2. Material and Methods**

### *Study area and sampling*

This study was conducted in the Cricaré estuary, within the Environmental Protected Area of Conceição da Barra, in the Espírito Santo state, southeastern Brazil (18°61'S, 39°73'W) (Figure 1). The northern Espírito Santo state is characterized by semidiurnal meso-tides (Albino et al. 2016).



Figure 1: Study Area: Cricaré estuary, Conceição da Barra, Espírito Santo state, southeastern Brazil

The study area presents well-developed mangrove forests reaching 18 m in height and the fringe mangrove is dominated by *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* (Vale and Ross 2011; Tognella et al. 2020). Bottom sediments at the Cricaré estuary are formed mainly by sand, silt, and clay (Vale et al. 2020). Salinity in the area shows a wide seasonal variation, ranging from 0 ppt in the rainy season to salinities exceeding 30 ppt in the dry season (RAMS unpublished data).

The sample collections were performed under license number 15080-7 provided by the Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio). A total of 161 juvenile Atlantic goliath grouper individuals were sampled from April to November 2015 and from March 2018 to October 2019 using baited blue crab traps. In addition, we received donations of 104 live juvenile specimens incidentally caught by artisanal fishers using different fishing gears in the Cricaré estuary. All individuals were donated in perfect health condition. Individuals were measured for total length (TL, cm) and standard length (SL, cm), weighed for total weight (W, g), and tagged with pit tags to obtain mark-recapture data. Fish smaller than 10 cm TL were not tagged, as the subcutaneous application of the tag could cause

damage to the small fish during the application. All fish were released immediately following sampling procedures.

### Data analysis

Recaptured tagged fish, when possible, were re-weighed and re-measured to assess growth rates. The recapture rate (%) was determined by the ratio of the number of recaptured individuals in relation to the total number of previously tagged individuals. The length-weight relationship (LWR) was obtained through the potential equation  $W = a \times L^b$ , after logarithmic transformation ( $\ln W = \ln a + b \ln TL$ ), where:  $W$  = weight,  $L$  = length,  $a$  = intercept,  $b$  = slope (Froese 2006). The 95% confidence limits for  $a$  and  $b$ , and the coefficient of determination ( $r^2$ ) were estimated, and an outlier analysis was performed. LWR analysis was performed using both TL (TLWR) and SL (SLWR) in cm. Finally, the relationship between SL and TL was determined through the linear equation  $SL = a \times TL - b$ , where  $a < 1$  (intercept). All estimates were performed in the R environment (R Core Team 2022).

### 2.3. Results

A total of 265 juvenile Atlantic goliath grouper were sampled throughout the study. Body size distribution ranged from 5.4 to 50.5 cm TL and was unimodal with a mode between 10.4 and 15.4 cm TL (Figure 2).

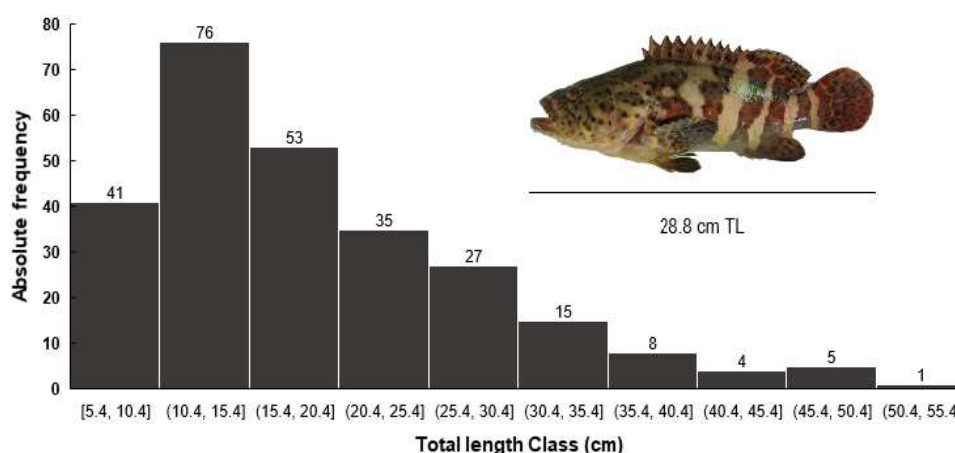


Figure 2: Juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* absolute frequency of occurrence in the Cricaré estuary, southeastern Brazil (n = 265)

Body weight ranged from 5.0 to 2,000.8 g. A total of 148 juvenile Atlantic goliath grouper were tagged throughout the study, of those tagged 11.5% (n = 17) were recaptured, with two individuals recaptured twice (Table I).

Table I – Mark-recapture data of 17 juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* individuals sampled in the Cricaré estuary, southeastern Brazil. Where: Id = microchip number inserted in the specimen; TL = total length; SL = standard length; W = weight; M = mark; R = recapture; \* = not available data; RT = Research Team; F = Fishers

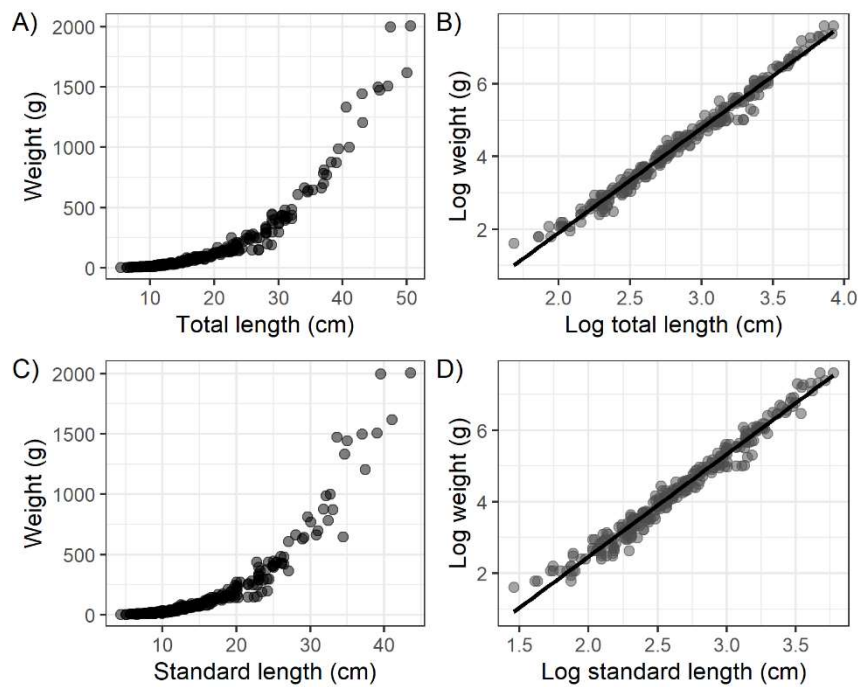
Id	Date	Mark/ Recapture	Days	TL (cm)	SL (cm)	W (g)	Source
1401083	2015-09-29	M		17.0	13.6	77	RT
	2015-10-02	R	3	*	*	*	RT
1412574	2015-05-07	M		19.6	15.5	103	RT
	2015-05-12	R	5	*	*	*	RT
1401129	2018-11-15	M		16.2	12.9	75	RT
	2018-11-22	R	7	17.0	13.7	75	RT
1401049	2015-09-29	M		17.3	14.6	95	F
	2015-10-08	R	9	17.6	15.1	*	F
1400850	2015-09-18	M		15.2	12.6	52	F
	2015-09-29	R	10	15.7	13.0	57	F
1412594	2018-09-25	M		23.0	18.3	144	RT
	2018-10-09	R	14	*	*	*	RT
1401128	2015-09-23	M		17.6	15.1	76	F
	2015-10-08	R	15	18.0	14.8	95	F
1401123	2015-07-01	M		23.4	19.2	196	RT
	2015-07-30	R	29	*	*	253	RT
1401169	2018-07-08	M		30.0	24.0	374	Rt
	2018-08-22	R	43	31.0	25.0	396	RT
1413019	2015-08-13	M		30.4	25.3	435	RT
	2015-10-01	R	50	34.6	29.1	644	F
	2015-10-30	R	79	36.7	30.8	665	F
1401348	2019-03-05	M		25.6	20.5	273	RT
	2019-05-22	R	76	26.2	21.6	*	RT
1400933	2015-05-07	M		23.1	18.5	164	RT
	2015-08-11	R	93	26.9	22.4	*	RT
1392604	2019-04-09	M		13.1	10.2	35	RT
	2019-07-25	R	107	*	*	*	RT
	2019-08-16	R	130	*	*	*	RT
1413428	2015-05-07	M		22.6	18.2	141	RT
	2015-09-10	R	122	29.5	24.9	405	F
1412812	2019-04-09	M		11.1	8.5	22	RT
	2019-08-16	R	127	*	*	*	RT
1400591	2019-04-09	M		11.7	9.2	27	RT
	2019-08-16	R	127	*	*	*	RT
1400833	2019-04-09	M		10.3	8.2	18	RT
	2019-10-16	R	186	13.2	10.0	36	RT

Some individuals were recaptured less than a week after being tagged. However, others were recaptured more than 100 days later, with one individual recaptured more than six months after being tagged (Table I). Of the 17 recaptured individuals that had at least one of the parameters measured (TL, SL, and/or W), all showed an increase in both size and weight between tagging and recapture, even for those individuals recaptured after shorter time lapses (< one week) (Table I).

Both TLWR and SLWR showed a negative allometric growth pattern ( $b = 2.876$  and  $2.851$ , respectively;  $r^2 = 0.979$  and  $0.970$ , respectively) for the sampled specimens (Table II, Figure S1). The relationship between SL and TL resulted in a linear relationship ( $SL = 0.999 TL - 0.188$ ,  $r^2 = 0.991$ ).

Table II - Length-weight relationship parameters of juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* sampled in the Cricaré estuary, southeastern Brazil. Where: n = number of specimens; TLWR = total length and weight correlation; SLWR = standard length and weight correlation; SD = standard deviation; a = intercept; b = slope;  $r^2$  = coefficient of determination; CI = confidence interval.

Species	n	Weight (g)		Length (cm)		Log a	95%CL Log a	b	95%CL b	$r^2$
		Range	Mean±SD	Range	Mean±SD					
TLWR	265	5.0 – 2,000.8	191.6±322.3	5.4 - 50.5	19.1 - 9.3	-1.666	- 1.730 -- 1.602	2.876	2.825 – 2.927	0.979
SLWR				4.3 - 43.5	15.8 - 7.7	-1.398	- 1.469 -- 1.326	2.851	2.789 – 2.912	0.970



Supplementary Figure 1: Metric relationships of juvenile goliath grouper *Epinephelus itajara* sampled in the Cricaré estuary, southeastern Brazil: A. TLWR; B. Log TLWR; C. SLWR; D. Log SLWR (n = 265)

## 2.4. Discussion

The present study area is one of the regions monitored by the Brazilian Atlantic Goliath Grouper Project (locally known as “Projeto Meros do Brasil”) (Hostim-Silva et al. 2018; PMB 2022). This project has been monitoring this species throughout the Brazilian coast for almost two decades, and this study revealed the highest abundance and frequency of occurrence of juvenile Atlantic goliath grouper in Brazil. Therefore, the Cricaré

estuary appears to be a suitable and essential habitat for this endangered species, particularly during its early life stages.

Fish lengths and their unimodal distribution could be explained by fishing gear selectivity since most juveniles were collected by blue crab traps in which captured fish size is limited by the trap entrance size. According to the growth curve established for individuals from the Gulf of Mexico by Bullock et al. (1992), most individuals caught in the present study were probably under 2 years old (specimens less than 50 cm TL) and approximately 92% of the individuals were probably in their first year of life (specimens less than 35 cm). The juvenile phase of the Atlantic goliath grouper can last up to 6 years (approximately one meter TL) in estuarine regions (Koenig et al. 2007). Therefore, all the specimens collected in this study could be considered juveniles.

Both the abundance and recapture rate of juveniles (11.5% rate) in the estuary over time suggests that these individuals do not use the mangrove occasionally, but rather, remain within the estuary. This hypothesis seemed to be corroborated by the recapture of individuals more than once, including a juvenile recaptured after six months of tagging. The presence of individuals in the same site over time is important to determine the relative density of fish in mangrove areas and to define these areas as nursery habitats (Koenig et al. 2007). Eklund and Schull (2001) studied juvenile Atlantic goliath grouper site fidelity through a mark-recapture method and observed a high degree of site fidelity in southwest Florida, in addition to a very high recapture rate of 37%. These authors used telemetry and also observed strong site fidelity and no seasonal migration of juveniles within the mangrove. Koenig et al. (2007) also employed the telemetry method and observed that juvenile Atlantic goliath grouper showed high site fidelity in mangroves, with individuals moving within a radius not greater than 293 m during the monitoring period. Other studies using different observational methods for other Epinephelidae species have shown similar patterns. For example, Desiderà et al. (2021) used underwater visual census (UVC) and photo-identification of the dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) between the summers of 2017 and 2018 at the Mediterranean Sea (in Italy) and determined that 22% of the individuals observed in 2017 returned to the same location in 2018, suggesting that residency and site fidelity patterns may be associated with its reproduction. Thus, in addition to mark-recapture studies, these other methods could be useful to better understand the use of mangroves by juveniles of the Atlantic goliath grouper and other grouper species in Brazil. Further studies applying multiple techniques to investigate the distribution and residence time of juveniles are needed to identify priority areas for conservation of this

endangered species (Faunce and Serafy 2006; Sabetian et al. 2021; Mattone et al. 2022).

Concerning the LWR and the growth pattern, the  $b$  values (2.876 for TLWR and 2.851 for SLWR) were within the expected range (2.5 to 3.5) (Froese 2006). Also, in both cases, the determination coefficient was close to 1. Given this, the Atlantic goliath grouper in the first steps of its juvenile phase displays a greater increase in length than in weight (Froese 2006). The negative allometric pattern in the present study differed from that found by Bullock et al. (1992) and Freitas et al. (2015) ( $b = 3.056$  and  $b = 3.813$ , respectively). However, it is important to highlight that the present study focused on juveniles smaller than 50 cm TL, while the above-mentioned studies analyzed mainly adults and very few juveniles. In addition, large variations of  $b < 2.6$  or  $b > 3.4$  may be linked to sampling issues, such as low sample size (Froese 2006), like, for example, Freitas et al. (2015) ( $b = 3.813$ ) that analyzed only 34 individuals. Finally, the SL and TL relationship results obtained in the current study may contribute to estimating the TL of stranded juvenile individuals found in mangrove areas with damaged or absent caudal fin. Since basic data for juvenile Atlantic goliath grouper are lacking in the literature, the relationship between SL and TL is important to be compiled, as done by Craig (2007) for white-streaked grouper *Epinephelus ongus*.

Identifying essential habitats for juveniles is an important conservation strategy for the species, and to date, there are few studies addressing their occurrence along the Brazilian coast, revealing a large knowledge gap. Despite the efforts of Projeto Meros do Brasil to find juvenile Atlantic goliath groupers in several estuaries along the Brazilian coast, the Cricaré estuary represents the unique area where fish smaller than 10 cm can be annually observed. This can provide subsidies for the continuity of the national fishing moratorium - instituted in 2002, expiring in 2023 - considering that estuaries and mangroves are essential settlement ecosystems for Atlantic goliath grouper juveniles and demand conservation measures to better understand and map key areas during this important development phase. Nonetheless, it is known that despite the moratorium, fishing continues (Giglio et al. 2014) and poaching seizures are reported by the National Environmental agencies (i.e., IBAMA).

The present study provides relevant information on a critical life stage of the endangered Atlantic goliath grouper *E. itajara*, since high juvenile mortality rates are expected, mainly due to predation and starvation (King 2007; Helfman et al. 2009). The current findings (reported for the first time in Brazil) of dozens of juvenile Atlantic goliath grouper captured and recaptured in the same region from time lapses ranging from less than a week to six months strongly suggest that the studied mangrove region constitutes a



nursery area for this species. Further studies are needed on the Brazilian coast to better understand the ecological role of mangroves and other estuarine habitats in sustaining juvenile Atlantic goliath grouper, especially regarding trophic ecology, growth, and habitat use patterns. Concomitantly, conservation actions should be reinforced to safeguard the health of mangroves and their ecological functions, including the protection of critical life stages (juveniles) of endangered species like the Atlantic goliath grouper.

## 2.5. References

- Albino J, Neto NC, Oliveira TCA (2016) The beaches of Espírito Santo. In: Short A and Klein AHF (eds.) *Brazilian Beach Systems*. Springer, Florida, pp 349-377
- Almeida LL, Stallings CD, Condini MV, Garcia AM, Tzadik OE, Koenig CC, Hostim-Silva M (2022) Nonlethal stable isotope analysis reveals consistent trophic growth of juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* in Brazilian estuaries. *Bull. Mar. Sci.* doi.org/10.5343/bms.2021.0025
- Artero C, Murie DJ, Koenig CC, Berzins R, Bouchon C, Lampert L (2015) Age, growth, and mortality of the Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* in French Guiana. *Endang. Species Res.* 28: 275–287
- Beck MW, Heck KL Jr, Able KW, Childers DL, Eggleston DB, Gillanders BM, Halpern B, Hays CG, Hoshino K, Minello TJ, Orth RJ, Sheridan PF, Weinstein MP (2001) The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience* 51:633–641
- Bertoncini AA, Aguilar-Perera A, Barreiros J, Craig MT, Ferreira B, Koenig C (2018) *Epinephelus itajara* (errata version published in 2019). The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T195409A145206345. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T195409A145206345.en>. Accessed on 09 March 2022
- Brasil (2015) Portaria Interministerial Ministério de Estado da Pesca e Aquicultura / Ministério de Estado do Meio Ambiente Nº 13, de 2 de outubro de 2015. DOU nº191, terça-feira, 6 de outubro de 2015 – Seção 1 – p. 20
- Brewster LR, Ibrahim AK, DeGroot BC, Ostendorf TJ, Zhuang H, Chérubin LM, Ajemian MJ (2021) Classifying Goliath Grouper (*Epinephelus itajara*) behaviors from a novel, multi-sensor tag. *Sensors* 21(19): 6392
- Bueno LS, Bertoncini AA, Koenig CC, Coleman FC, Freitas MO, Leite Jr, De Souza TF, Hostim-Silva M (2016) Evidence for spawning aggregations of the endangered Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* in southern Brazil. *J. Fish Biol.* 89(1):876–889
- Bullock LH, Murphy MD, Godcharles MF, Mitchell ME (1992) Age, growth, and reproduction of jewfish *Epinephelus itajara* in the eastern Gulf of Mexico. *Fish. Bull.* 90(2):243–249
- Craig MT (2007) Preliminary observations on the life history of the white-streaked grouper, *Epinephelus ongus*, from Okinawa, Japan. *Ichthyol. Res.* 54:81–84
- Craig MT, Graham RT, Torres RA, Hyde JR., Freitas, MO, Ferreira BP, Hostim-Silva M, Gerhardinger, LC, Bertoncini AA, Robertson DR (2009) How many species of goliath grouper are there? Cryptic genetic divergence in a threatened marine fish and the resurrection of a geopolitical species. *Endang. Species Res.* 7(3):167–174
- Dahlgren CP, Kellison GT, Adams AJ, Gillanders BM, Kendall MS, Layman CA, Ley JA, Nagelkerken I, Serafy JE (2006) Marine nurseries and effective juvenile habitats:

- concepts and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 312:291–295
- Desiderà E, Trainito E, Navone A, Blandin R, Magnani L, Panzalis P, Mazzoldi C, Guidetti P (2021) Using complementary visual approaches to investigate residency, site fidelity and movement patterns of the dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) in a Mediterranean marine protected area. *Mar. Biol.* 168:111
- 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: Sibert JR and Nielsen JL (eds.) *Electronic tagging and tracking in marine fisheries*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 189–216
- Faunce CH, Serafy JE (2006) Mangroves as fish habitat: 50 years of field studies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 318:1–18
- Ferreira BP, Freitas MO, Bertoncini AA, Hostim-Silva M, Gerhardinger L, Nunes ZMP, Torres R, Rezende SM, Floeter SR, Ferreira CEL, Francini-Filho RB, Moura RL (2018) *Epinephelus itajara* Lichtenstein, 1822. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ed.) *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI – Peixes*. ICMBio, Brasília, pp 805–812
- Freitas MO, Abilhoa V, Giglio VJ, Hostim-Silva M, De Moura RL, Francini-Filho RB, Mente-Vera CV (2015) Diet and reproduction of the goliath grouper, *Epinephelus itajara* (Actinopterygii: Perciformes: Serranidae), in Eastern Brazil. *Acta Ichthyol. Piscat.* 45(1):1–11
- Frias-Torres S (2006) Habitat use of juvenile goliath grouper *Epinephelus itajara* in the Florida Keys, USA. *Endang. Species Res.* 2:1–6
- Friedlander AM, Ballesteros E, Fay M, Sala E (2014) Marine communities on oil platforms in Gabon, West Africa: high biodiversity oases in a low biodiversity environment. *PLoS One* 9(8): e103709
- Froese R (2006) Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis, and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* 22(4):241–253
- Gerhardinger LC, Marenzi RC, Bertoncini AA, Medeiros RP, Hostim-Silva M (2006) Local ecological knowledge on the goliath grouper *Epinephelus itajara* (Teleostei: Serranidae) in southern Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* 4(4): 441–450
- Giglio VJ, Bertoncini AA, Ferreira BP, Hostim-Silva M, Freitas MO (2014) Landings of Goliath Grouper, *Epinephelus itajara*, in Brazil: despite prohibited over ten years, fishing continues. *Nat. Conservação* 12:118–123
- Helfman G, Collette BB, Facey DE, Bowen BW (2009) *The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology*. 2. ed. Wiley-Blackwell, Hong Kong, pp. 1–736
- Hostim-Silva M, Bertoncini AA, Gerhardinger LC, Machado LF (2005) The “Lord of the Rock’s” conservation program in Brazil: The need for a new perception of marine fishes. *Coral Reefs* 24(1):74
- Hostim-Silva M, Bertoncini AA, Borgonha M, Leite JR, Freitas MO, Daros FA, Bueno LS, Farro APC, Koenig CC (2018) The Atlantic Goliath Grouper: conservation strategies for a critically endangered species in Brazil. In: Rossi-Santos MR and Finkl CW (eds). *Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America: Technological Innovation and Conservation*. Springer, Switzerland, pp. 367–405
- King M (2007) *Fisheries Biology, Assessment and Management*. 2. ed. Wiley-Blackwell, Hong Kong, pp. 1–399
- Koenig CC, Coleman FC, Eklund AM, Schull J, Ueland, J (2007) Mangroves as essential nursery habitat for goliath grouper (*Epinephelus itajara*). *Bull. Mar. Sci.* 80(3):567–586
- Lara MR, Schull J, Jones DL, Allman R (2009) Early life history stages of goliath grouper *Epinephelus itajara* (Pisces: Epinephelidae) from Ten Thousand Islands, Florida. *End.*

Species Res. 7(3):221–228

- Mattone C, Bradley M, Barnett A, Konovalov DA, Sheaves M (2022) Environment conditions constrain nursery habitat value in Australian sub-tropical estuaries. *Mar. Environ. Res.* 175:105568
- PMB (2022) Projeto Meros do Brasil. Available from: <https://www.merosdobrasil.org/>
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <https://www.R-project.org/>
- Roos NC, Longo GO, Pennino MG, Francini-Filho RB, Carvalho AR (2020) Protecting nursery areas without fisheries management is not enough to conserve the most endangered parrotfish of the Atlantic Ocean. *Sci. Rep.* 10:19143
- Sabetian A, Zhang J, Campbell M, Walter R, Allen H, Reid M, Wijenayake K, Lilkendey J (2021) Fish nearshore habitat-use patterns as ecological indicators of nursery quality. *Ecol. Indic.* 131:108225
- Sadovy Y, Eklund AM (1999) Synopsis of biological data on the Nassau grouper, *Epinephelus striatus* (Bloch, 1792), and the jewfish, *E. itajara* (Lichtenstein, 1822). NOAA Technical Report NMFS 146:1–65
- Sherman KD, Dahlgren CP, Stevens JR, Tyler CR (2016) Integrating population biology into conservation for endangered Nassau grouper *Epinephelus striatus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 554: 263–280
- Tognella MMP, Leopoldo RVS, Oliveira CP, Pascoalini SS, Silva ED (2020) Diversidade estrutural das florestas de mangue da costa central e norte do Espírito Santo: contribuições para entendimento de funções ecossistêmicas. *Enciclopédia Biosfera* 17(33):178–193
- Tzadik OE, Jones DL, Peebles EB, Koenig CC, Stallings CD (2017) The effects of spatial scale on assigning nursery habitats in Atlantic Goliath Groupers (*Epinephelus itajara*) using non-lethal analyses of fin rays. *Estuaries and Coasts* 40(6):1785–1794
- Vale CC, Ross JLS (2011) As transformações morfológicas e fitogeográficas do Estuário do Rio São Mateus, litoral norte do estado do Espírito Santo, entre 1970 e 2008. *Revista do Departamento de Geografia – USP* 21:03-23
- Vale CC, Ross J, Oliver-Batalha M, Wanderley TC (2020) Dinâmica geomorfológica e fitogeográfica do estuário do Rio São Mateus (ES): estudo de caso. In: Muehe D, Linsde-Barros FM and Pinheiro LS (eds). *Geografia Marinha: Oceanos e Costas na perspectiva de Geógrafos*. PPGM, Rio de Janeiro, pp.104–129
- Wirtz P, Bingeman J, Bingeman J, Fricke R, Hook TJ, Young J (2017) The fishes of Ascension Island, central Atlantic Ocean - new records and an annotated checklist. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 97:783–798

## **2.6. Acknowledgements**

The authors express sincere thanks to the fishers Juliana Lopes Clarindo, Romildo Lopes, and Nador Luiz Muniz (*In Memoriam*) for fieldwork activities throughout the years, and all the fishing communities throughout the study area (Pontal do Sul, Meleiras, Barreiras, and Conceição da Barra). We thank the PMB-ES team for the sample collection and preparation.

## **2.7. Funding**

This work was supported by Meros do Brasil Project (PMB) sponsored by Petrobras (contract number 5850.0105503.17.2), and FAPES (EDITAL FAPES Nº 21/2018 – UNIVERSAL). The main author thanks FAPES for the master's scholarship (EDITAL FAPES Nº 14/2019 – PROCAP 2020). L Almeida thanks CAPES for the scholarships (PDS - 88882.385188/2019-01). M Hostim-Silva thanks the research fellowship provided by CNPq (Proc. 312278/2017-9) and FAPES for the Research Support Program grant (T.O: 221/2019).

## **2.8. Authorship**

Rodrigo Augusto Moreno Santos: conceptualization, data analysis, writing, review, editing, submission

Mario Vinicius Condini: conceptualization, review

Lorena Lopes Almeida: data collection, review

Marcelo Soeth: review

Áthila Andrade Bertoni: acquisition of financing, review

Mauricio Hostim Silva: acquisition of financing, review

# CAPÍTULO III

**Habitat use of juvenile Atlantic goliath grouper  
*Epinephelus itajara*: a critically endangered  
species in Brazil**



## CAPÍTULO III

### **Habitat use of juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara*: a critically endangered species in Brazil**

Rodrigo Augusto Moreno-Santos<sup>1,2,3\*</sup>, Mario Vinicius Condini<sup>1,2,3</sup>, Lorena Lopes Almeida<sup>1,3,4</sup>, Rafael Lima Oliveira<sup>1,4</sup>, Augusto Alves Machado<sup>1,2</sup>, Ester Felipe Barbosa<sup>1,3</sup>, Áthila Andrade Bertoncini<sup>3,5,6</sup> & Maurício Hostim-Silva<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Laboratório de Ecologia de Peixes Marinhos - LEPMAR, BR 101, Km 60, São Mateus, ES, Brazil. CEP: 29932-540

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Av. Fernando Ferrari, nº 514, Vitória, ES, Brazil. CEP: 29075-910

<sup>3</sup> Instituto Meros do Brasil, Rua Benjamin Constant, nº 67, Conj. 1104, Curitiba, PR, Brazil. CEP: 80060-020

<sup>4</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Av. Fernando Ferrari, nº 514, Vitória, ES, Brazil. CEP: 29075-910

<sup>5</sup> Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ecoturismo e Conservação, Av. Pasteur, nº 458, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. CEP: 22290-240

<sup>6</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Campus Universitário, s/n, Florianópolis, SC, Brazil. CEP: 88040-900

\*Corresponding author: rodrigomoreno88@hotmail.com

Running page head: *Juvenile goliath grouper habitat use*

Artigo a ser submetido à revista *Endangered Species Research*

Note

ISSN 1613-4796

Qualis CAPES B1 – Biodiversidade

Fator de Impacto 2.029



## Abstract

The Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* is a rare and critically endangered reef fish species in Brazil that during its juvenile stage inhabits estuarine habitats such as mangroves and moves to reef environments in the adult stage. The main goal of the present study was to investigate juvenile preferential estuarine habitats and understand how water abiotic variables (pH, salinity, temperature, dissolved oxygen, and depth) influences the presence/absence of juveniles in a tropical estuary on the southeastern Brazilian coast. Fourteen biweekly field campaigns were carried out from August 2021 to February 2022 using six blue crab traps deployed in three morphologically distinct sites: Pontal, Lagoon creek and Pitangueiras creek. A total of 40 juveniles ranging from 7.5 to 31.9 cm total length were recorded, and the Kruskal-Wallis analysis showed that juveniles have preferential estuarine habitats due habitat morphology, inhabiting in greater abundance the wide lagoon environment (Pontal) rather than the medium width and narrow creeks. However, GLM analysis did not show significant influence of water abiotic variables in the presence/absence of individuals in each site, but the study reported the important juvenile ability to tolerate wide variations in salinity (1.5 – 30.7 ppt) and very low concentrations of dissolved oxygen ( $< 1 \text{ mgL}^{-1}$ ). These findings contribute to the knowledge about the juvenile stage of the critically endangered species which lacks studies in Brazil and contributes to the species conservation through identifying preferential habitats and ecological traits in an important nursery area in the southwestern Atlantic coast.

Keywords: Conservation, GLM, Mangrove, Reef fish

## Introduction

The Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* (Epinephelidae) is an estuarine-dependent reef fish that inhabits the West Atlantic Ocean from the southeastern United States of America (USA - Florida state) to the southern Brazil (Santa Catarina state), including the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea (Hostim-Silva et al. 2005; Craig et al. 2009; Bertoncini et al. 2018; Bravo-Calderon et al. 2021). The species shows habitat use shifts: in the juvenile stage, the species inhabits estuarine environments such as mangroves (Frias-Torres 2006; Koenig et al. 2007) and in the adult stage lives associated to coral and rocky reefs, shipwrecks, bridges, and oil platforms (Bullock et al. 1992; Sadovy and Eklund 1999; Bertoncini et al. 2018). The species is a large top predator in marine ecosystems, reaching sizes exceeding 400 kg and 2 m in total length (Bullock et al. 1992; Sadovy and Eklund 1999), feeding on crustaceans, fishes, cephalopods, and sea turtles (Sadovy and Eklund 1999; Artero et al. 2015; Freitas et al. 2015).

Although being a great predator, the Atlantic goliath grouper presents intrinsic traits that make it vulnerable to extinction, such as slow growth (Bullock et al. 1992), late sexual maturity (Sadovy and Eklund 1999), high site fidelity (Eklund and Schull 2001; Koenig et al. 2007) and formation of spawning aggregations (Bueno et al. 2016; Koenig et al. 2016). Combining these features with overfishing and loss of mangrove quality the species is currently classified worldwide as Vulnerable by the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) (Bertoncini et al. 2018) and Critically Endangered in Brazil according to the Red Book of the Endangered Brazilian Fauna of the Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (Ferreira et al. 2018).

Understanding the use of mangroves by endangered fish species is important to identify juvenile fish occurrence areas and to contribute to the conservation of species by understanding ecological traits of a critical life stage, generating the possibility of identifying potential areas for protection and restoration of environments used by endangered species such as mangroves (Koenig et al. 2007). The Atlantic goliath grouper is a species with high tolerance to large variations in salinities (close to 0 ppt and higher than 30 ppt), as well as to dissolved oxygen (tolerating concentrations close to 0); however, the species is sensitive to low temperatures and water in red tide conditions (Sadovy and Eklund 1999).

Regarding habitat use, only a few *in situ* studies restricted to the Florida coast (USA) have sought to understand how water abiotic variables influence the suitability of estuaries and mangroves for habitat use by juvenile Atlantic goliath grouper: Frias-Torres

(2006) using visual census in mangroves in the Florida Keys (USA) observed that juveniles prefer shallow waters with depths greater than 80 cm; Koenig et al. (2007) investigated the relationship between juvenile density and water conditions in Ten Thousand Islands (TTI, USA) and assumed that salinity and dissolved oxygen are the most important variables affecting fish distribution in mangroves; and Shideler et al. (2015), observed that juveniles in TTI have a strong association with dissolved oxygen (DO) concentration greater than 3 mgL<sup>-1</sup>, and for small juveniles (< 34 cm TL), habitat use is influenced by extreme temperatures.

Mangroves are considered important ecosystems that fish use as refugia, feeding, and nesting areas (Faunce and Serafy 2006) and many reef species utilize mangroves during their juvenile stage (Nagerkelken et al. 2002; Mumby et al. 2004). Understanding how juvenile Atlantic goliath grouper use these complex habitats is an important contribution to knowledge of this endangered species, especially in Brazil, where there is a lack of studies focused on juvenile specimens. Thus, the overall goal of this study is to determine preferential habitats of juvenile Atlantic goliath grouper in a tropical estuary in southeastern Brazil and to analyze how water abiotic variables influence its habitat use.

## **Materials & Methods**

### **Study area**

The present study was carried out in the Cricaré estuary (18°36'S, 39°44'W; Figure 1), located in the north of Espírito Santo state, southeastern Brazil. The Cricaré river mouth presents mangrove forests composed mainly of *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* (Tognella et al. 2020). It is located within the Environmental Protected Area of Conceição da Barra, a Conservation Unit created in 1998 and officially established in 2007 with the aim of protecting coastal environments and the Atlantic Forest, an important biodiversity hotspot in Brazil that includes mangrove forests. The adjacent continental shelf of the northern Espírito Santo coast is located in the southern Abrolhos Bank, where an important reef system was recently discovered, and the presence of Atlantic goliath grouper and several reef fish species were reported (Mazzei et al. 2016).

Three sites were chosen along the estuarine region of the Cricaré River, due to their morphological environmental differences: Pontal (A) is a wide concave-shaped estuarine lagoon with maximum width of 320 meters and maximum depth of 290 cm; Lagoon creek (B) is a narrow creek with maximum width of 10 m and maximum depth of 310 cm; and

Pitangueiras creek (C) is a medium-width creek (maximum width 40 m) with 315 cm maximum depth (Fig 1). The site (A) is about 200 m away from the mangrove roots, while the (B) and (C) sites are very close to the mangrove roots (Figure 1).

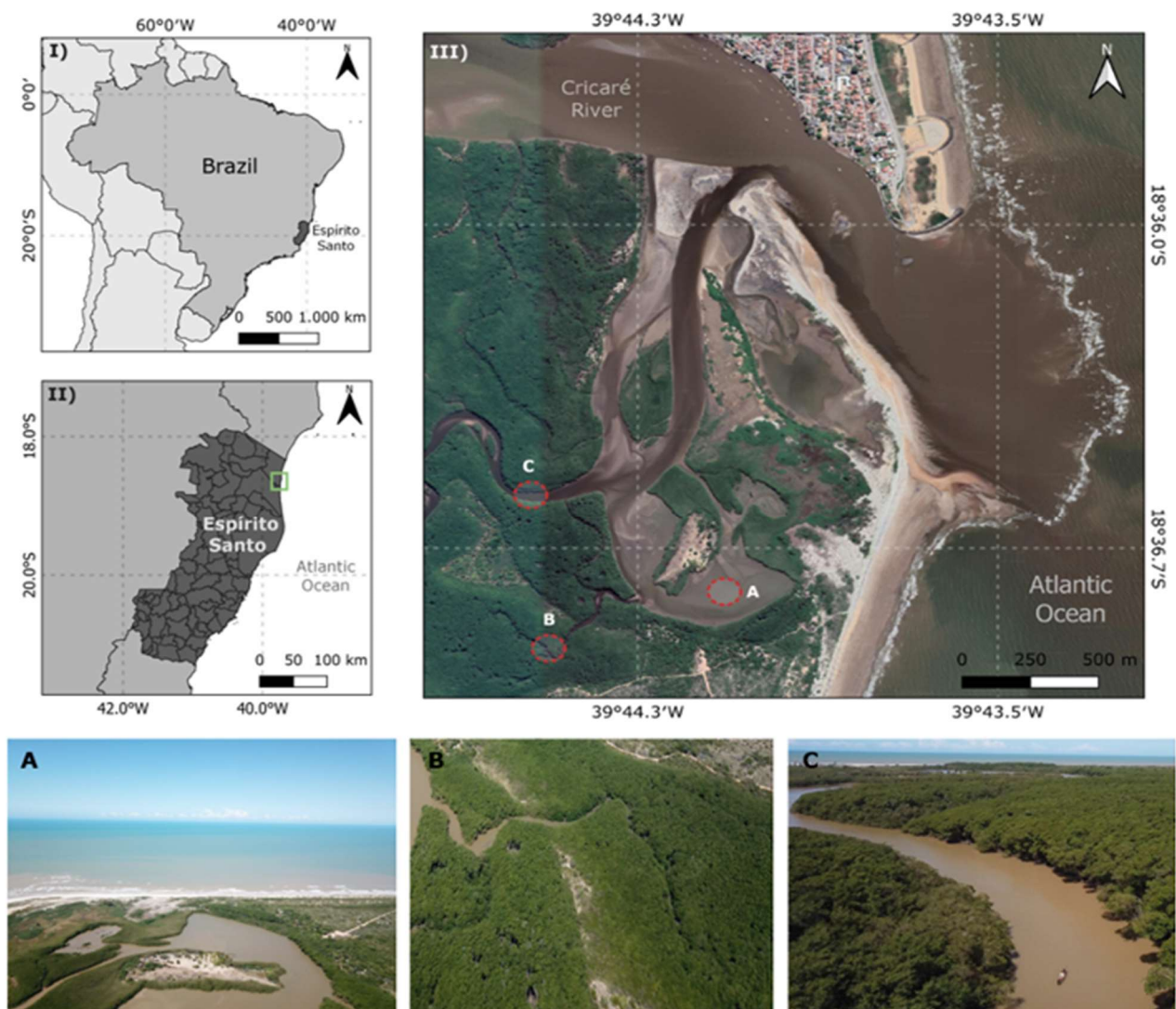


Figure 1. Study area in Conceição da Barra, Espírito Santo, Brazil, and the sampling locations (A) Pontal, (B) Lagoon creek, and (C) Pitangueiras creek, where juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* were caught. The maps were elaborated through QGIS 3.16 (QGIS, 2022). Map: Augusto Alves Machado. Drone photos: Diego Henrique Santos.

### Sampling and processing

Juvenile Atlantic goliath grouper were collected biweekly from August 2021 to February 2022 using six baited blue crab traps deployed at each site. The traps were baited with fish (mainly '*manjuba*' Engraulidae) and blue crab (*Callinectes spp.* Portunidae) and each trap remained submerged for 5 days (120 hours). The traps were checked for the first time after 72 hours of deployment, had the bait changed, and then were checked every 12

hours for two days. The traps had standardized measurements: parallelepiped shape, 20 cm high, 50 cm wide and long, 3 cm mesh in the sides and the top, 1.5 mesh at the bottom and entrances with an external diameter of 20 cm and an internal diameter of 6.4 cm. The traps were produced according to a model provided by local fisherwomen who are important informants of incidental capture of Atlantic goliath grouper small juveniles, focus of the present study.

While traps were checked, the abiotic variables of water were measured: depth (cm), pH, temperature (°C), salinity (ppt), and dissolved oxygen ( $\text{mgL}^{-1}$ ). The first variable was measured using a 320 cm wooden ruler and the other variables were obtained using a multiparameter water quality checker Horiba U-50® placed at an average depth of the collection site.

All captured individuals had their biometric data collected: total length (TL, cm), standard length (SL, cm), and weight (W, g). The procedures were performed in continuous aeration tanks containing estuarine water and the individuals were anesthetized using clove oil (3mL/10L). After procedures, the individuals were observed and returned to the same collection site after verification of post-sedation conditions. This study was performed under license number 15080-10 provided by the Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMbio).

## Data Analysis

Preferential habitats of individuals were determined from a non-parametric Kruskal-Wallis (K-W) analysis followed by a post hoc Dunn test comparing the abundance of juvenile fish in the three morphologically distinct sampled sites, once the data were not normally distributed. The K-W and Dunn tests were used to verify significant differences between the abiotic variables at each site.

Generalized Linear Models (GLM) using the binomial distribution with a 'cloglog' link function were used to investigate how abiotic variables influence presence or absence of juveniles in the sites. The distribution family and the link function were chosen due to the nature of the binary data (presence = 1 and absence = 0) and the proportion of 0 and 1 in the data matrix. Before fitting models, the continuous predictor variables (i. e., depth, pH, temperature, salinity and dissolved oxygen) were standardized (Zuur et al. 2009; Dunn and Smyth 2018). To check the collinearity between the predictive variables, a collinearity analysis was performed based on the variation inflation factor (VIF) (Dorman et al. 2013).

The choice of the best model was made according to the minimum adequate model, keeping in the model only the predictor variables that showed significance to juvenile presence after the chi-square ANOVA analysis. All statistical analyses were performed in R software (R Development Core Team, 2022) with a significance level set at 0.05.

## Results

A total of 40 juvenile Atlantic goliath groupers were sampled, ranging from 7.5 to 31.9 cm TL, from 5.8 to 25.5 cm SL, and from 8 to 370 g (Table I). Juvenile Atlantic goliath grouper were found in salinities ranging from 1.2 to 30.7 ppt, dissolved oxygen from 0.45 to 6.71 mgL<sup>-1</sup>, temperatures from 21.1 to 28.9 °C, depths from 30 to 260 cm, and pH from 6.89 to 8.76 (Table I). A significant difference was found in the abundance of juvenile Atlantic goliath grouper between the study sites (K-W,  $p < 0.05$ ), with a greater abundance in the Pontal (A,  $n = 30$ ) compared to the Lagoon creek (B,  $n = 10$ ) and the Pitangueiras creek (C,  $n = 0$ ) sites (Figure 2).

Among the three sampled sites, salinity and temperature did not show significant differences (K-W,  $p > 0.05$ ; Figure 3A,B) while depth, pH and dissolved oxygen showed significant differences in at least two sites (K-W,  $p < 0.05$ ; Figure 3C-E). The GLM results showed significant influence of the variable site, but did not show significant influence of water abiotic variable to presence/absence of juveniles among sites.



Table I – Data of 40 juvenile Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* individuals sampled in the Cricaré estuary, Conceição da Barra, Espírito Santo state, southeastern Brazil. Where: n = specimen number; TL = total length; SL = standard length; Sal. = salinity; DO = dissolved oxygen T = temperature; A = Pontal; B = Lagoon creek; \* = not available data

n	Date	Site	TL (cm)	SL (cm)	Weight (g)	Sal. (ppt)	DO (mgL <sup>-1</sup> )	pH	T ° (C)	Depth (cm)
01	08/12/2021	A	13.3	10.5	39	28.8	4.23	8.51	22.4	152
02	08/13/2021	A	9.6	7.8	16	25.0	4.02	8.59	24.0	211
03	08/14/2021	A	28.8	23.5	370	30.5	4.08	8.65	22.7	220
04	09/01/2021	A	8.4	6.6	11	24.9	3.63	8.40	22.6	146
05	09/14/2021	A	10.3	8.2	19	26.3	3.22	8.52	23.4	146
06	09/16/2021	A	10.1	8.3	20	27.5	5.08	8.56	24.0	70
07	09/16/2021	A	17.0	13.4	88	27.3	5.17	8.57	24.0	80
08	09/16/2021	B	7.7	6.1	8	26.0	3.98	8.19	24.4	50
09	09/25/2021	A	9.9	7.9	16	29.8	6.71	8.66	24.6	200
10	10/08/2021	A	9.6	7.5	15	30.7	5.96	8.16	25.7	205
11	10/30/2021	A	19.2	14.9	123	15.0	3.47	7.38	26.6	94
12	10/30/2021	A	16.3	13.2	85	15.4	1.92	7.27	26.7	100
13	10/30/2021	A	12.3	9.4	29	15.4	1.92	7.27	26.7	100
14	11/01/2021	A	11.9	9.3	27	23.2	2.38	7.88	25.9	52
15	11/01/2021	A	20.1	16.0	145	21.6	3.57	7.86	25.9	30
16	11/14/2021	A	17.3	13.5	86	24.8	3.75	8.40	23.6	93
17	11/14/2021	A	18.9	11.7	117	23.4	5.11	8.60	23.5	89
18	11/15/2021	A	19.8	15.5	114	25.4	4.05	8.60	24.5	77
19	11/15/2021	B	11.2	8.8	22	10.4	3.16	7.80	21.2	89
20	11/16/2021	A	17.6	14.0	93	24.2	4.76	8.60	23.8	72
21	11/25/2021	A	17.3	13.4	88	3.5	2.90	7.17	25.2	186
22	11/27/2021	A	7.5	5.8	9	4.6	4.92	8.03	24.9	127
23	11/27/2021	A	20.4	16.3	162	4.6	4.82	7.99	24.9	132
24	11/27/2021	A	17.4	13.8	*	4.6	4.82	7.99	24.9	132
25	12/12/2021	B	27.6	22.5	315	6.7	0.45	7.73	24.6	111
26	01/20/2022	B	31.9	25.5	508	1.2	2.95	6.89	28.2	186
27	01/20/2022	B	28.7	23.0	339	1.2	2.95	6.89	28.2	186
28	01/21/2022	A	12.5	9.8	32	10.4	3.50	8.08	27.9	225
29	01/21/2022	B	15.1	12.2	54	5.2	3.38	7.77	28.2	232
30	01/22/2022	A	16.1	12.4	59	5.6	3.83	7.90	28.5	230
31	01/27/2022	A	22.9	18.6	190	3.6	4.06	8.31	28.9	103
32	01/28/2022	A	11.8	9.6	26	7.2	2.20	7.98	27.5	100
33	01/28/2022	B	12.0	9.6	28	3.9	1.18	7.57	25.9	112
34	01/28/2022	B	12.5	9.7	31	3.6	0.94	7.59	26.0	143
35	01/29/2022	A	19.5	15.5	130	16.7	1.96	8.26	27.1	80
36	02/04/2022	A	23.2	18.7	186	9.9	3.31	8.01	28.3	260
37	02/04/2022	A	28.6	22.7	368	9.9	3.31	8.01	28.3	260
38	02/04/2022	A	21.2	17.4	146	13.3	3.59	8.13	28.9	250
39	02/05/2022	B	15.0	12.0	60	1.5	3.52	8.11	28.3	210
40	02/06/2022	B	16.4	13.1	63	2.2	2.94	8.76	27.6	195

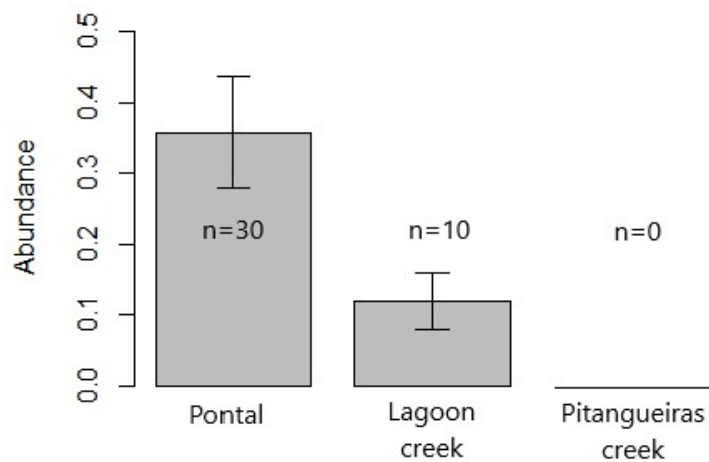


Figure 2. Abundance of juvenile Atlantic goliath grouper sampled at three sites in the Cricaré estuary, Conceição da Barra, Espírito Santo state, southeastern Brazil.

Table II – Abiotic data of the three morphologically distinct sites sampled in the Cricaré estuary, southeastern Brazil. Where: Min = minimum; SD = standard deviation, Max = maximum, A = Pontal; B = Lagoon creek; C = Pitangueiras creek

Site	pH			Temperature (°C)			Depth (cm)			Salinity (ppt)			Dissolved Oxygen (mgL <sup>-1</sup> )		
	Min	Mean ± SD	Max	Min	Mean ± SD	Max	Min	Mean ± SD	Max	Min	Mean ± SD	Max	Min	Mean ± SD	Max
A	6.95	8.10±0.43	8.72	22.3	26.07±2.11	31.9	30	162.24±21.67	290	0.3	14.40±2.93	31.6	0.95	3.97±0.71	7.95
B	6.70	7.76±0.46	8.76	21.0	25.71±2.16	30.4	50	169.55±28.18	310	0.2	11.73±1.67	30.9	0.00	3.12±0.77	7.95
C	6.48	7.99±0.47	8.79	21.9	25.96±2.01	30.5	78	196.19±27.65	315	0.1	13.74±3.39	31.7	1.16	4.88±0.92	8.46

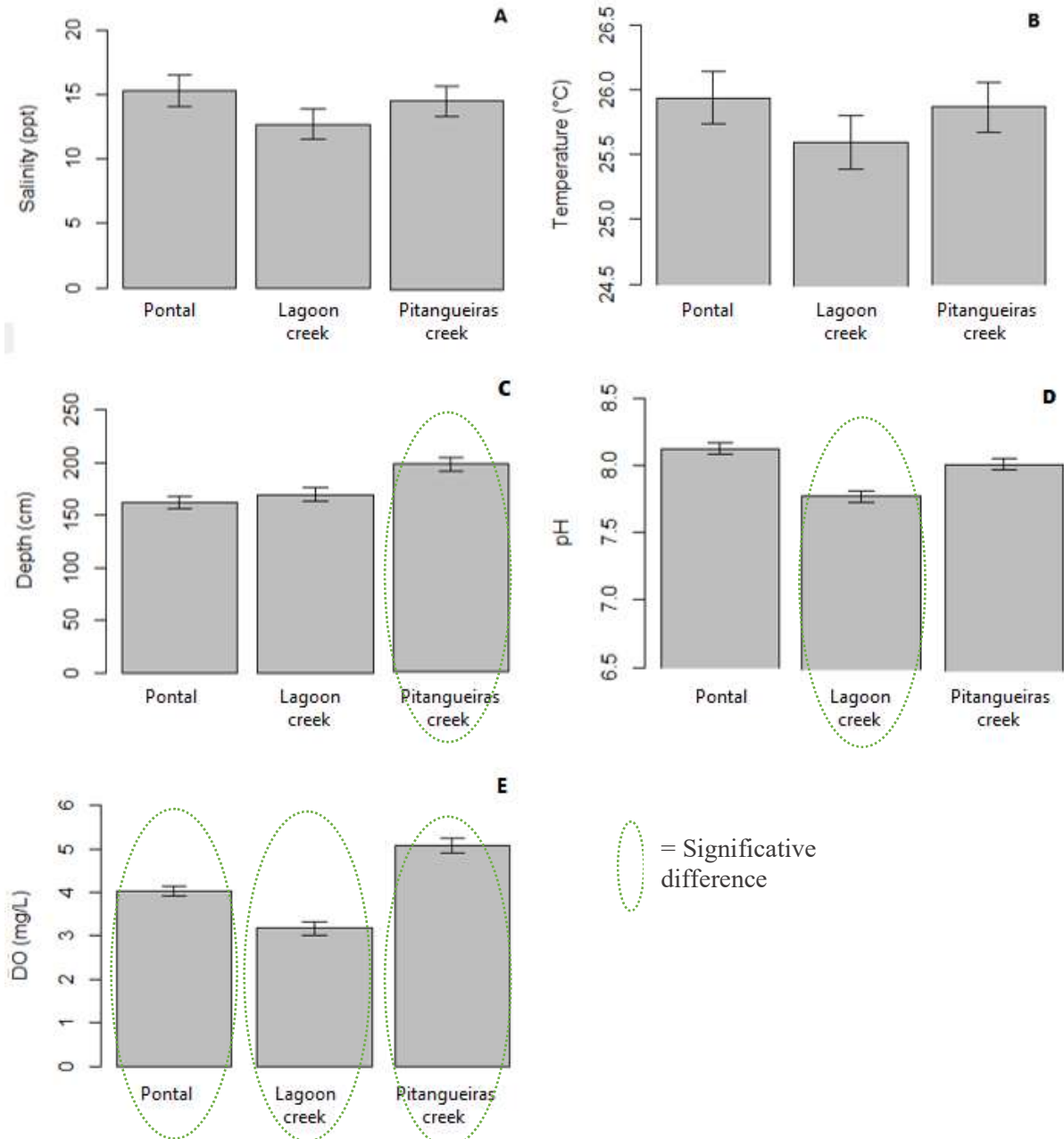


Figure 3. Abiotic data of the three sampled sites at the Cricaré estuary, Conceição da Barra, Espírito Santo state, southeastern Brazil. A. Salinity (ppt); B. Temperature (°C), C. Depth (cm); D. pH; E. Dissolved Oxygen (mgL<sup>-1</sup>)

## Discussion

The present study reports important ecological traits for juvenile Atlantic goliath grouper (< 32 cm TL) in a nursery area in southeastern Brazil and contributes to the species knowledge by identifying preferential habitats and reporting juvenile tolerance to very low dissolved oxygen concentrations (< 1 mgL<sup>-1</sup>) and a wide range of salinity (1.2 – 30.7 ppt) in the study area. These findings demonstrate the species resistance to environmental conditions even in the juvenile stage when individuals live associated with mangroves. The Cricaré estuary is an important ecosystem for juvenile Atlantic goliath grouper and has been the focus of research that indicates that juveniles show high site fidelity, being captured and recaptured over time in the same sites (R. Santos unpub. data).

Regarding the preferred habitat for juveniles in the present study, the greater abundance of specimens in Pontal (A) may be associated to the morphological differences between the sampled sites, since the site has a wide and larger area protected by a vegetated sandy bank, which makes the site more stable for fish in terms of tidal effects and freshwater flow (the site has a lower flow rate compared to the other sampled sites). The influence of habitat morphology on the use of mangroves by the species can be observed in Frias-Torres (2006) that compared Atlantic goliath grouper juvenile presence in different site shapes and types (straight, concave, convex, erosive, and depositional) and observed juvenile association in concave erosional environments; and Koenig et al. (2007) that compared juvenile Atlantic goliath grouper density between rivers and islands systems and found greater density in islands.

In the present study, the GLM analysis did not show a significant influence of abiotic variables on the presence/absence of juveniles in each sampled site, therefore, we assume that other variables besides the site morphology could be influencing the distribution of juveniles in the study site, for example, estuary bottom type. Frias-Torres (2006) studying Atlantic goliath grouper bottom type preferences in the Florida Keys (USA), observed juveniles associated to soft sediments like mud and sand instead of hardbottom and seagrass, and Camp et al. (2013) studying the microhabitat association of juvenile Nassau grouper *E. striatus* in shallow lagoons in Little Cayman Island (Caribbean) observed strong association of individuals with hardbottom type instead of other bottom types like sand, seagrass, and algae. These studies show that juvenile groupers possibly have preferential habitats depending on the type of sediment or vegetation present at the bottom of the nursery area.

Further studies using other predictor variables are needed to unravel the complex habitat use of juveniles in the estuary and complement the knowledge of this critically endangered species in Brazil. Cocheret De La Morinière et al. (2004) observed that to some reef fish species mangroves are attractive to juveniles as they provide different degrees of structural complexity and shading, protecting fish against predation. Our data reveals that juveniles from the sites probably use the habitat complexity provided by mangrove roots and the shadow provided by the canopy, leaving the roots during low tides, when some root areas become dry. Igulu et al. (2014), in its turn, observed that on a larger scale the tidal regime can influence the use of mangroves by juvenile reef fish, which may be a potential variable to be considered in future studies in Brazil, due to the presence of an extensive coastline with tides ranging from micro to macro tidal conditions potentially affecting habitat use by juvenile Atlantic goliath grouper in different ways along the coast.

In addition to considering other environmental variables to unravel the habitat use by juvenile Atlantic goliath grouper, long-term monitoring of water conditions is critical to understanding the relationship between the environment and juvenile distribution in the estuary, as done by Shideler et al. (2015) who analyzed abiotic data collected for 5 years in the USA. The authors observed that small juveniles (< 34 cm TL) are more likely to occur in waters between 24 °C and 31 °C and DO concentrations higher than 3 mgL<sup>-1</sup>; while for large juveniles (> 34 cm) extreme salinities influence individuals distribution in mangroves, as individuals were not associated with salinities lower than 10 ppt or higher than 35 ppt. It is important to note that these findings refer to a robust analysis of hundreds of individuals found in TTI, a well-known center of juvenile Atlantic goliath grouper abundance worldwide.

Although the influence of water conditions on the distribution of juvenile Atlantic goliath grouper remains unclear, in the present study, we report important data on salinity and DO range tolerance corroborating the aforementioned study by Sadovy and Eklund (1999). Furthermore, Botero and Ospina (2003) investigating wild juvenile Atlantic goliath grouper tolerance to water conditions in aquaculture experiments in the Colombian Caribbean observed tolerance to DO concentrations between 0.9 to 7.1 mgL<sup>-1</sup> and salinities between 7 and 37 ppt. More recently, Chapman et al. (2014) performed laboratory experiments using juveniles (mean standard length = 25.6 cm) also from the Colombian Caribbean and observed high freshwater tolerance when individuals were gradually exposed to lower salinities (mortality rate = 0%) but low tolerance when were abruptly transferred to freshwater (mortality rate = 60%). The wide salinity tolerance can be explained by the presence of chloride cells in the gill filament epithelium that can eliminate

the excess of electrolytes while in seawater and nephrons in the kidneys that can retain electrolytes when in freshwater, as observed by Garcia et al. (2013) that investigated osmoregulation in juvenile Atlantic goliath grouper in Colombia.

Regarding the influence of pH on the species habitat use, there is a lack of knowledge, but aquaculture experiments using juvenile Atlantic goliath grouper are carried out in slightly alkaline estuarine waters (pH between 8.2 – 8.9) (Chapman et al. 2014) and it is known that waters with acidic pH negatively influence physiological functions in freshwater and estuarine fish (Kwong et al. 2014; DePasquale et al. 2015).

The present study contributes with new ecological data for the critical juvenile stage of the Atlantic goliath grouper in Brazil and reinforces the need to protect estuaries and mangroves to ensure the continuity of the life cycle of the species that is on the verge of extinction in Brazil. The population decline of the species in Brazil exceeds 80%, including the disappearance of the species in places historically known for the presence of spawning aggregations (Ferreira et al. 2018). Therefore, mapping areas of occurrence of juvenile Atlantic goliath grouper and studying habitat use becomes essential to better understand and protect the life cycle of the species. Through these findings, the Cricaré estuary can be considered a suitable environment for the development of juveniles, since, as far as is known, the region is the place with the greatest abundance of Atlantic goliath grouper juveniles in Brazil (A. Bertoncini unpub. data).

### 3.5. References

- Artero C, Koenig CC, Richard P, Berzins R, Guillou G, Bouchon C, Lampert L (2015) Ontogenetic dietary and habitat shifts in goliath grouper *Epinephelus itajara* from French Guiana. *Endang. Species Res.* 27:155-168
- Bertoncini AA, Aguilar-Perera A, Barreiros J, Craig MT, Ferreira B, Koenig C (2018) *Epinephelus itajara* (errata version published in 2019). The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T195409A145206345. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T195409A145206345.en>. Accessed on 09 March 2022
- Botero J, Ospina JF (2003) Crecimiento y desempeño general de juveniles silvestres de Mero guasa *Epinephelus itajara* (Lichtenstein) mantenidos en jaulas flotantes bajo diferentes condiciones de cultivo. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 32:25-36
- Bravo-Calderon A, Saenz-Arroyo A, Fulton S, Espinoza-Tenorio A, Sosa-Cordero E (2021) - Goliath grouper *Epinephelus itajara* oral history, use, and conservation status in the Mexican Caribbean and Campeche Bank. *Endang. Species Res.* 45:283-300
- Bueno LS, Bertoncini AA, Koenig CC, Coleman FC, Freitas MO, Leite Jr, De Souza TF, Hostim-Silva M (2016) Evidence for spawning aggregations of the endangered Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* in southern Brazil. *J. Fish Biol.* 89(1):876–889
- Bullock LH, Murphy MD, Godcharles MF, Mitchell ME (1992) Age, growth, and reproduction of jewfish *Epinephelus itajara* in the eastern Gulf of Mexico. *Fish. Bull.* 90(2):243–249
- Camp EF, Lohr KE, Barry SC, Bush PG, Jacoby CA, Manfrino C (2013) Microhabitat associations of late juvenile Nassau grouper (*Epinephelus striatus*) off Little Cayman, BWI. *Bull. Mar. Sci.* 89(2):571-581
- Chapman FA, García LN, Atencio VJ, Muñoz RJ, Silva A, Flores H (2014) Low-salinity acclimation of juvenile marine Goliath grouper *Epinephelus itajara*. *J. Appl. Aquac.* 26:179-186
- Cocheret de la Morinière E, Nagelkerken I, Van der Meij H, Van der Velde G (2004) What attracts juvenile coral reef fish to mangroves: habitat complexity or shade? *Mar. Biol.* 144:139–145
- Craig MT, Graham RT, Torres RA, Hyde JR., Freitas, MO, Ferreira BP, Hostim-Silva M, Gerhardinger, LC, Bertoncini AA, Robertson DR (2009) How many species of goliath grouper are there? Cryptic genetic divergence in a threatened marine fish and the resurrection of a geopolitical species. *Endang. Species Res.* 7(3):167–174
- DePasquale E, Baumann H, Gobler CJ (2015) Vulnerability of early life stage Northwest Atlantic forage fish to ocean acidification and low oxygen. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 523:145-156
- Dormann CF, Elith J, Bacher S, Buchmann C, Carl G, Carré G, Marquéz JRG, Gruber B, Lafourcade B, Leitão PJ, Münkemüller T, McClean C, Osborne PE, Reineking B, Schröder B, Skidmore AK, Zurell D, Lautenbach S (2013) Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36: 27-46
- Dunn PK, Smyth GK (2018) *Generalized Linear Models with examples in R*. Springer, New York, 562p
- 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: Sibert JR and Nielsen JL (eds.) *Electronic tagging and tracking in marine fisheries*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 189–216

- Faunce CH, Serafy JE (2006) Mangroves as fish habitat: 50 years of field studies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 318:1–18
- Ferreira BP, Freitas MO, Bertoncini AA, Hostim-Silva M, Gerhardinger L, Nunes ZMP, Torres R, Rezende SM, Floeter SR, Ferreira CEL, Francini-Filho RB, Moura RL (2018) *Epinephelus itajara* Lichtenstein, 1822. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ed.) Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI – Peixes. ICMBio, Brasília, pp 805–812
- Freitas MO, Abilhoa V, Giglio VJ, Hostim-Silva M, De Moura RL, Francini-Filho RB, Mente-Vera CV (2015) Diet and reproduction of the goliath grouper, *Epinephelus itajara* (Actinopterygii: Perciformes: Serranidae), in Eastern Brazil. *Acta Ichthyol. Piscat.* 45(1):1–11
- Frias-Torres S (2006) Habitat use of juvenile goliath grouper *Epinephelus itajara* in the Florida Keys, USA. *Endang. Species Res.* 2:1–6
- Garcia LN, Sierra CL, Perez J, Esquivel F, Chapman FA (2013) Osmoregulation of juvenile marine goliath grouper (*Epinephelus itajara*) in low-salinity water. *Rev. Colomb. de Cienc. Pecu.* 26:127-135
- Hostim-Silva M, Bertoncini AA, Gerhardinger LC, Machado LF (2005) The “Lord of the Rock’s” conservation program in Brazil: The need for a new perception of marine fishes. *Coral Reefs* 24(1):74
- Igulu MM, Nagelkerken I, Dorenbosch M, Grol MGG, Harborne AR, Kimirei IA, Mumby PJ, Olds AD, Mgaya YD (2014) Mangrove habitat use by juvenile reef fish: meta-analysis reveals that tidal regime matters more than biogeographic region. *PloS One* 9(12): e114715
- Koenig CC, Bueno LS, Coleman FC, Cusick JA, Ellis RD, Kingon K, Locascio JV, Malinowski C, Murie DJ, Stallings CD (2016) Diel, lunar, and seasonal spawning patterns of the Atlantic goliath grouper, *Epinephelus itajara*, off Florida, United States. *Bull Mar. Sci.* (92)0
- Koenig CC, Coleman FC, Eklund AM, Schull J, Ueland, J (2007) Mangroves as essential nursery habitat for goliath grouper (*Epinephelus itajara*). *Bull. Mar. Sci.* 80(3):567–586
- Kwong RWM, Kumai Y, Perry SF (2014) The physiology of fish at low pH: the zebrafish as a model system. *J. Exp. Biol.* 217:651-662
- Mazzei EF, Bertoncini AA, Pinheiro HT, Machado LF, Vilar CC, Guabiroba HC, Costa TJF, Bueno LS, Santos LN, Francini-Filho RB, Hostim-Silva M, Joyeux JC (2016) Newly discovered reefs in the southern Abrolhos Bank, Brazil: Anthropogenic impacts and urgent conservation needs. *Mar. Pollut. Bull.* 114(1):123-133
- Mumby P, Edwards AJ, Arias-González JE, Lindeman KC, Blackwell PG, Gall A, Gorchynska MI, Harborne AR, Pescod CL, Renken H, Wabnitz CCC, Ilyn GL (2004) Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature* 427:533-536
- Nagelkerken I, Roberts CM, van der Velde G, Dorenbosch M, van Riel MC, Cocheret de la Morinière E, Nienhuis PH (2002) How important are mangroves and seagrass beds for coral-reef fish? The nursery hypothesis tested on an island scale. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 244:299-305
- QGIS Development Team (3.16 version - 2022). QGIS Geographic Information System [Internet]. Open Source Geospatial Foundation Project. Available from: <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <https://www.R-project.org/>
- Sadovy Y, Eklund AM (1999) Synopsis of biological data on the Nassau grouper,



- Epinephelus striatus* (Bloch, 1792), and the jewfish, *E. itajara* (Lichtenstein, 1822). NOAA Technical Report NMFS 146:1–65
- Shideler GS, Sagarese SR, Harford WJ, Schull J, Serafy JE (2015) Assessing the suitability of mangrove habitats for juvenile Atlantic goliath grouper. *Environ. Biol. Fish* 98:2067–2082
- Tognella MMP, Leopoldo RVS, Oliveira CP, Pascoalini SS, Silva ED (2020) Diversidade estrutural das florestas de mangue da costa central e norte do Espírito Santo: contribuições para entendimento de funções ecossistêmicas. *Enciclopédia Biosfera* 17(33):178–193
- Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, S AA, Smith GM (2009) *Mixed effects models and extensions in Ecology with R*. Springer, New York, 574p

### 3.6. Acknowledgements

The authors express sincere thanks to the fishers Juliana, Juliete, Dona Luciene, Vinicius, and Sr. Matheus for fieldwork activities and traditional knowledge shared and the PMB-ES team (especially Marcos Bomfim and Marcelo Soeth) for assistance in field collections.

### 3.7. Funding

This work was supported by Meros do Brasil Project (PMB) sponsored by Petrobras (contract number 5850.0105503.17.2), and FAPES (EDITAL FAPES Nº 21/2018 – UNIVERSAL). The main author thanks FAPES for the master's scholarship (EDITAL FAPES Nº 14/2019 – PROCAP 2020). M Hostim-Silva thanks the research fellowship provided by CNPq (Proc. 312278/2017-9) and FAPES for the Research Support Program grant (T.O: 221/2019).

### 3.8. Authorship

Rodrigo Augusto Moreno Santos: conceptualization, data collection, data analysis, writing, review, editing, submission

Mario Vinicius Condini: data collection, review

Rafael Lima Oliveira: data collection, review

Lorena Lopes Almeida: data collection, review

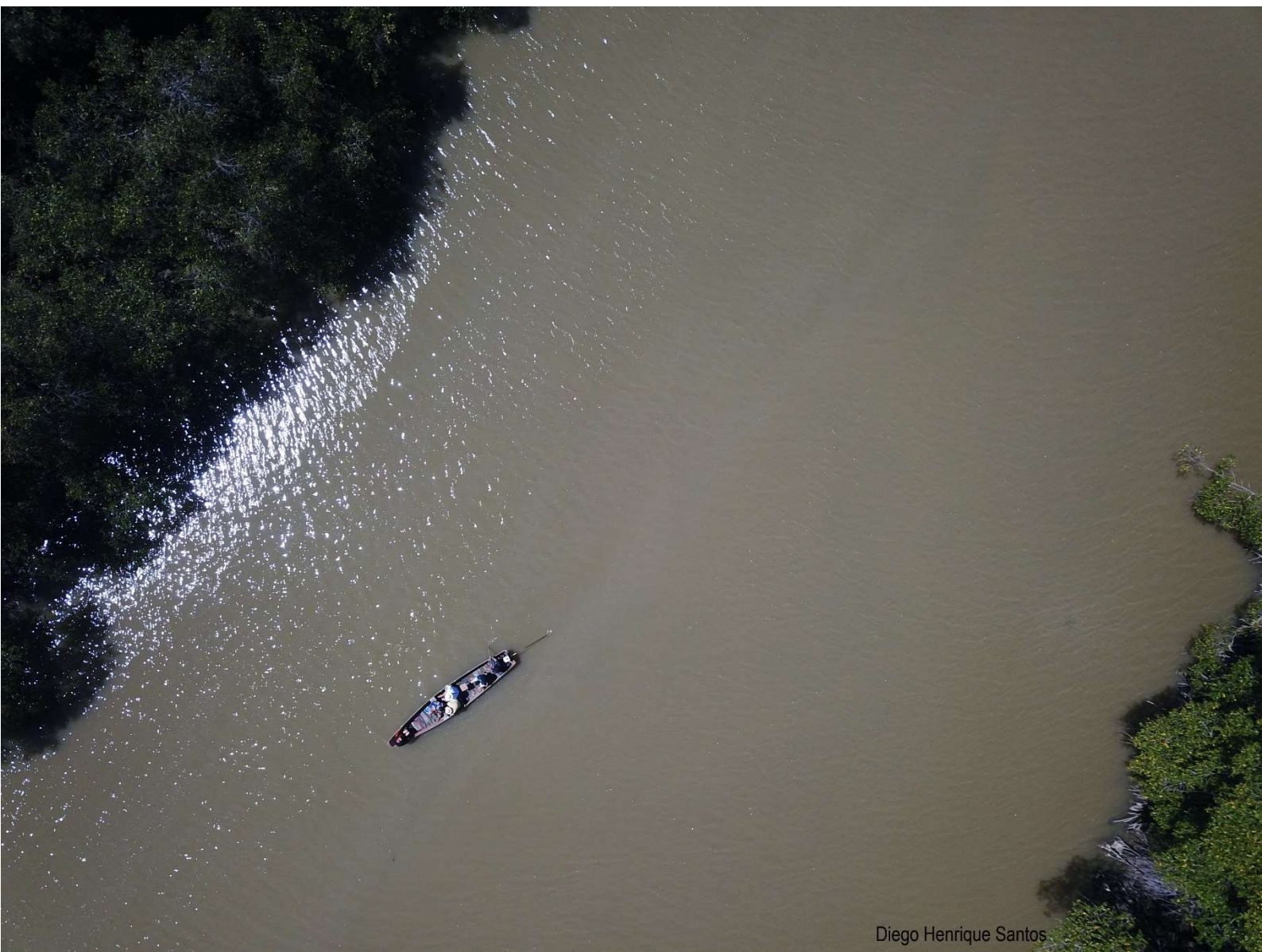
Augusto Alves Machado: map production, review

Áthila Andrade Bertoncini: conceptualization, acquisition of financing, review

Mauricio Hostim Silva: conceptualization, acquisition of financing, review

Ester Barbosa Felipe: data collection, review

# Considerações Finais



## Considerações Finais

O presente estudo contribui com importantes informações ecológicas sobre as primeiras etapas da fase juvenil do Mero, que se encontra criticamente ameaçado de extinção no Brasil (Ferreira et al. 2018), onde mesmo após a proibição da captura (Brasil 2015), toneladas de indivíduos continuam sendo capturados (Gligio et al. 2014; Bentes et al. 2019; Pereira et al. 2021). O Brasil possui extenso litoral, importantes rios que desaguam no Oceano Atlântico, registros esparsos de juvenis de Mero em estuários, porém, estudos ecológicos sobre a ocorrência e o uso de estuários e manguezais por juvenis de Mero ainda são escassos. Neste contexto, o presente estudo contribui com as seguintes informações ecológicas inéditas para a espécie no Brasil:

- O Mero habita o estuário do Rio Cricaré (norte do Espírito Santo) de forma não ocasional durante as primeiras etapas da fase juvenil, o que é corroborado pelos registros de recapturas de indivíduos ao longo do tempo (entre 3 e 186 dias após a 1ª captura, taxa de recaptura = 11.5%), incluindo registros de indivíduos sendo recapturados mais do que uma vez durante o período de estudo. A ocorrência de recapturas de indivíduos no mesmo local da 1ª captura sugere que os juvenis apresentam **fidelidade ao habitat**;

- A **relação comprimento total-peso** para juvenis (CT 5.4 a 50.5 cm) pode ser apresentada através da equação  $Y = 0.0216x^{2.876}$ , a relação comprimento padrão-peso pode ser representada pela equação  $Y = 0.0399x^{2.851}$  e a relação entre o comprimento padrão e o comprimento total é dada por  $CP = 0.999 CT - 0.188$ ;

- Juvenis (CT 5.4 a 50.5 cm) exibem **padrão de crescimento alométrico negativo** ( $b = 2.876$ ), apresentando ganho de comprimento proporcionalmente maior que o ganho de peso durante a fase de vida estudada;

- Juvenis (CT 7.5 a 31.9 cm) possuem **habitat preferencial** de acordo com os três habitats morfologicamente distintos amostrados (laguna estuarina apresenta maior abundância de juvenis em relação aos riachos de largura média e pequena);

- Juvenis (CT 7.5 a 31.9 cm) apresentam **tolerância a ampla variação de salinidade**, sendo encontrados em salinidades entre 1.2 a 30.7 ppt e também a **concentrações de oxigênio dissolvido muito baixas** ( $< 1\text{mgL}^{-1}$ );

- As variáveis abióticas pH, salinidade, profundidade, temperatura e oxigênio dissolvido parecem não exercer influência significativa sobre a distribuição dos juvenis nos três habitats estuarinos selecionados, carecendo de estudos de longa duração para reforçar este resultado.

Dessa forma, a presente Dissertação alcança os objetivos gerais e específicos propostos pela pesquisa e aceita **parcialmente** a hipótese testada “o Mero, espécie rara e criticamente ameaçada de extinção no Brasil, habita o estuário do Rio Cricaré durante as primeiras etapas da fase juvenil, utiliza diferentes tipos de habitats no manguezal e as variáveis ambientais da coluna d’água (pH, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e profundidade) exercem influência sobre a distribuição espacial de juvenis no estuário”, com ressalvas à última afirmativa da hipótese.

Dada a raridade da espécie (Frias-Torres 2006), a ocorrência de cerca de 3 centenas de capturas de juvenis em uma pequena área estuarina e a ocorrência de recapturas de indivíduos ao longo do tempo, a pesquisa sugere que o estuário do Rio Cricaré atua como um importante berçário para juvenis de Mero, que encontram condições favoráveis para o seu desenvolvimento utilizando a complexa estrutura do manguezal, porém, fazem-se necessários estudos de longo prazo para melhor compreender a influências das variáveis abióticas sobre a distribuição de juvenis no estuário, como feito por exemplo por Shideler et al. (2015), que utilizaram dados abióticos coletados durante cinco anos para compreender como as condições da água influenciam na ocorrência de juvenis de Mero no Refúgio da Vida Silvestre de Ten Thousand Islands, na costa da Flórida. O foco do presente trabalho foram os pequenos juvenis, que são registrados por pescadores com relativa abundância na área de estudo, porém, existe a necessidade de obtenção de dados sobre juvenis de maiores classes de comprimento e para isso fazem-se necessárias coletas em outras regiões do estuário com a utilização de diferentes artes de pescas adequadas a juvenis maiores, sendo fundamental a participação de pescadores e pescadoras locais para identificação de áreas de ocorrência de juvenis de classes de comprimento maiores.

O presente trabalho é fruto de um monitoramento de médio a longo prazo realizado com alto grau de esforço amostral que conta com a participação ativa de pesquisadores, estudantes, pescadores e pescadoras apoiados por importantes instituições de ensino e pesquisa de renome nacional e internacional (Universidade Federal do Espírito Santo e Instituto Meros do Brasil) e espera-se que esta Dissertação seja útil para os tomadores de decisão que atuam nas atividades de conservação da espécie, tais como atividades de educação ambiental em escolas, oficinas direcionadas à comunidade pesqueira, renovação de listas de espécies ameaçadas de extinção a nível estadual e nacional, renovação da moratória que protege o Mero até o ano de 2023 e atualização de planos de manejo e diretrizes de Unidades de Conservação do Espírito Santo e regiões adjacentes.

#### 4.1. Referências Bibliográficas

- Bentes B, Mendes NCB, Viana CS, Romão-Júnior JGR, Silva KCA, Andrade CER, Gomes LJP, Cintra IHA (2019) Incidental catch of goliath grouper *Epinephelus itajara* (Lichtenstein, 1822) e *Epinephelus sp* (Bloch, 1793) in industrial fisheries of Brazilian northern coast: a critical endangered species. *Biota Amazonica* 9(1): 58-59
- Ferreira BP, Freitas MO, Bertoincini AA, Hostim-Silva M, Gerhardinger L, Nunes Z MP, Torres R., Rezende SM, Floeter SR, Ferreira CEL, Francini-Filho RB, Moura RL (2018) *Epinephelus itajara* Lichtenstein, 1822. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Ed.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI – Peixes (pp. 805-812). Brasília: ICMBio
- Frias-Torres S (2006) Habitat use of juvenile goliath grouper *Epinephelus itajara* in the Florida Keys, USA. *Endang. Species Res.* 2:1–6
- Giglio VJ, Bertoincini AA, Ferreira BP, Hostim-Silva M, Freitas MO (2014) Landings of Goliath Grouper, *Epinephelus itajara*, in Brazil: Despite Prohibited Over Ten Years, Fishing Continues. *Natureza & Conservação* 12:118–123. DOI:10.1016/j.ncon.2014.09.004
- Pereira LJG, Fernandes SCR, Andrade CER, Nunes ZP, Cintra IHA, Bentes B (2021) Landing of Atlantic Goliath grouper *Epinephelus itajara* (Serranidae, Epinephelus) (Epinephelinae) in Amazon Northeast. *Arq. Ciên. Mar* 54(1):135-149
- Shideler GS, Sagarese SR, Harford WJ, Schull J, Serafy JE (2015) Assessing the suitability of mangrove habitats for juvenile Atlantic goliath grouper. *Environ. Biol. Fish* 98:2067-2082

