



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

ALINE ROCHA FRANÇA

**ESTRUTURA POPULACIONAL, ESTRATÉGIAS REPRODUTIVAS E  
RECRUTAMENTO DE *Lutjanus analis* E *Lutjanus jocu* NAS COSTAS LESTE E  
NORDESTE BRASILEIRAS**

Recife

2021

ALINE ROCHA FRANÇA

**ESTRUTURA POPULACIONAL, ESTRATÉGIAS REPRODUTIVAS E  
RECRUTAMENTO DE *Lutjanus analis* E *Lutjanus jocu* NAS COSTAS LESTE E  
NORDESTE BRASILEIRAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Oceanografia.

**Área de concentração:** Oceanografia  
Biológica

**Orientador:** Profa. Dra. Beatrice Padovani Ferreira

**Coorientador:** Prof. Dr. George Olavo

Recife

2021

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

F814e França, Aline Rocha  
Estrutura populacional, estratégias reprodutivas e recrutamento de  
Lutjanus analis e Lutjanus jocu nas costas leste e nordeste brasileiras / Aline  
Rocha França – Recife, 2021.  
94 f.

Orientadora: Profa. Dra. Beatrice Padovani Ferreira.  
Coorientador: Prof. Dr. George Olavo.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2021.  
Inclui referências e apêndice.

1. Oceanografia. 2. Agregações reprodutivas. 3. Pesca. 4. Manejo. 5.  
Química de otólito. 6. Estoque. 7. Peixes recifais. I. Ferreira, Beatrice  
Padovani (Orientadora). II. Olavo, George (Coorientador). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG / 2021 - 134

ALINE ROCHA FRANÇA

**ESTRUTURA POPULACIONAL, ESTRATÉGIAS REPRODUTIVAS E  
RECRUTAMENTO DE *Lutjanus analis* E *Lutjanus jocu* NAS COSTAS LESTE E  
NORDESTE BRASILEIRAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Oceanografia.

Aprovada em 15/01/2021

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Beatrice Padovani Ferreira (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Felipe Alexandre Lisboa de Miranda Daros (Examinador Externo)  
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

---

Profa. Dra. Flavia Lucena Frédou (Examinador Externo)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr. Matheus Oliveira Freitas (Examinador Externo)  
Instituto Meros do Brasil

---

Prof. Dr. Marcelo Francisco de Nóbrega (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Moacyr Cunha de Araujo Filho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me permitido chegar até aqui e por tudo que me proporcionou ao longo da caminhada.

Aos meus pais por todo amor, suporte e presença tão importantes, principalmente neste período de pandemia.

Gratidão também à minha orientadora Beatrice, pelo apoio sempre presente, pela parceria, e por ser uma grande incentivadora e exemplo.

Ao professor Jay Rooker por nos receber tão bem durante o período sanduíche e por toda orientação desde o início do projeto. Gratidão também aos colegas da Texas A&M University, Shane Stephens, Jason Mostowy e Michelle Sluis, pelo suporte durante as análises geoquímica dos otólitos. A Phillip Sanchez, pela amizade e importante apoio durante a execução das atividades na TAMU / My thanks to Professor Jay Rooker for welcoming us so well during the sandwich period and for all the guidance since the beginning of the project. Thanks also to colleagues from Texas A&M University, Shane Stephens, Jason Mostowy and Michelle Sluis, for their assistance during the geochemical analyses of the otoliths. My sincere thanks also to Phillip Sanchez for the friendship and important support during the execution of the activities at TAMU.

Ao meu coorientador George Olavo, por todos os ensinamentos e confiança ao longo destes anos de parceria.

Aos pescadores de Camamu, Valença, Itapuã, São José da Coroa Grande, Tamandaré, Natal, Fortaleza e Fernando de Noronha, por serem tão solícitos e importantes colaboradores neste projeto.

A Daniel pela valiosa amizade e parceria no sanduíche, e aos demais amigos do LECOR: Juliana, Mari, Deborah, Jéssica, Jonas, Rodrigo, Ana Lídia, Camila, Paulinha, enfim, a toda a turma pelas alegrias divididas e pela oportunidade de aprender com vocês. Gratidão também especialmente a Bili, Juliana e Deborah pelo apoio e importante ajuda na coleta dos otólitos.

Aos professores e funcionários do PPGO pela importante contribuição ao doutorado.

À FACEPE, CAPES, FAPESB, CEPENE, LIKA Projeto PVE CNPQ: Population and ecosystem connectivity on coral reef fishes (CNPQ PVE 401594/2014-9) e Projeto Pró-Arribada (FUNBIO/IBAMA nº 02001.003030/2001-82) pelo subsídio oferecido para que o trabalho fosse realizado, com bolsas de estudo e pesquisa no Brasil e exterior, intercâmbio de professores e suporte para as coletas de campo, processamento e análise de dados.

À Petrobrás e ao ICMBio pelos dados do monitoramento pesqueiro disponibilizados.

E a todas as outras pessoas que, de diversas formas, contribuíram para a construção deste trabalho.

## RESUMO

Conhecer a biologia reprodutiva e estrutura populacional de espécies alvo da pesca é de grande importância para elaboração de medidas adequadas para o manejo e conservação destes recursos. *Lutjanus analis* e *Lutjanus jocu* são peixes recifais e estão entre os principais recursos explorados pela pesca artesanal no Nordeste brasileiro. Estas espécies apresentam o hábito de realizar agregações reprodutivas que chegam a reunir centenas de indivíduos em eventos previsíveis no tempo e espaço, conforme tem sido documentado por pesquisas realizadas em diferentes regiões do mundo, especialmente no Golfo do México e Caribe. No presente estudo, por meio da análise de dados de captura e esforço da pesca, índice gonadossomático e histologia de gônadas, foram identificados e validados sítios de agregação reprodutiva das espécies nas costas Leste e Nordeste brasileiras. As desovas estão distribuídas ao longo do ano, concentrando-se principalmente no período do verão para as duas espécies. Os sítios identificados localizam-se na borda da plataforma continental, inseridos em região classificada pela Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) como Área Ecológica e Biologicamente Significante (EBSA). Alguns destes sítios estão também localizados próximos à uma importante área de proteção marinha, a APA Costa dos Corais. Ajustes nos limites da APA, associado ao manejo participativo, envolvendo as comunidades pesqueiras, poderão contribuir para conservação destes recursos e continuidade da pesca. Ambas as espécies alvo deste estudo (*L. analis* e *L. jocu*) apresentam distribuição ontogenética *cross-shelf*, com recrutamento de juvenis em recifes rasos e ambientes estuarinos, no entanto o *L. jocu* se diferencia por apresentar populações estabelecidas e explorada pela pesca artesanal também em regiões oceânicas, como nos montes submarinos e em Fernando de Noronha. Com o objetivo de investigar conectividade, padrões de recrutamento em regiões oceânicas e costeiras e estrutura de estoques, otólitos da espécie foram coletados em três sítios na região costeira (Fortaleza, Natal e São José) e três sítios em região oceânica (Banco Grande, Bancos Leste-Sueste e Fernando de Noronha) entre fev/2017 e fev/2018. Os otólitos foram analisados quimicamente quanto à composição de elementos traço (Li, Mg, Mn, Co, Ba, Sr) e isótopos estáveis ( $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ ) no núcleo em porção referente ao primeiro ano de vida. Elementos traço foram também quantificados para a borda do otólito. Os resultados das análises discriminantes apontam para assinatura química diferenciada entre os exemplares das regiões oceânicas e costeira, sugerindo segregação entre os estoques. Otólitos do *L. jocu* de Fernando de Noronha foram também analisados quanto aos padrões de idade e crescimento da espécie na região. Dados disponibilizados pelo ICMBio referente ao monitoramento pesqueiro realizado na ilha

permitiram também caracterizar a pesca da espécie. Os principais pesqueiros, arte de pesca empregada e períodos de captura foram identificados. Foram também definidos os parâmetros de idade e crescimento segundo o modelo de Von Bertalanffy, comparando a curva de crescimento obtida com estudos para a espécie em outros locais. As informações obtidas no presente estudo ajudam a compreender características ecológicas e biológicas do *L. analis* e *L. jocu*, fornecendo assim subsídios que poderão contribuir para a elaboração de medidas de gestão e manejo destas espécies na região estudada.

Palavras-chave: Agregações reprodutivas. Pesca. Manejo. Química de otólito. Estoque. Peixes recifais.

## ABSTRACT

Understanding the reproductive biology and population structure of fishery target species is of great importance in developing appropriate measures for the management and conservation of these resources. *Lutjanus analis* and *Lutjanus jocu* are reef fish and are among the main resources exploited by artisanal fisheries in Northeast Brazil. These species have the habit of performing reproductive aggregations that bring together hundreds of individuals in predictable events in time and space, as has been documented by research conducted in different regions of the world, especially in the Gulf of Mexico and the Caribbean. In the present study, through the analysis of catch and effort data, gonad index and gonad histology, spawning aggregation sites of the species were identified and validated on the East and Northeast coasts of Brazil. The spawnings are distributed throughout the year, concentrating mainly on the summer period for both species. The identified sites are located on the continental shelf edge, in a region classified by the Convention on Biological Diversity (CDB) as an Ecologically and Biologically Significant Area (EBSA). Some of these sites are also located near an important marine protection area, the Coral Coast MPA. Adjustments in the boundaries of the MPA, associated with participatory management, involving fishing communities, can contribute to the conservation of these resources and continuity of fishing. Both target species of this study (*L. analis* and *L. jocu*) present ontogenetic cross shelf distribution, with recruitment of juveniles in shallow reefs and estuarine environments, however *L. jocu* has a different pattern, with populations established and exploited by artisanal fishing also in oceanic regions, such as seamounts and Fernando de Noronha. In order to investigate connectivity, recruitment patterns in oceanic and coastal regions, and stock structure, otoliths of the species were collected in three sites on the coast (Fortaleza, Natal and São José) and three sites in oceanic regions (Banco Grande, Banco Leste-Sueste and Fernando de Noronha) between Feb/2017 and Feb/2018. The otoliths were chemically analyzed for the composition of trace elements (Li, Mg, Mn, Co, Ba, Sr) and stable isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) in the nucleus in a portion referring to the first year of life. Trace elements were also quantified for the border of the otolith. The discriminant analysis results point to a distinct chemical signature among the specimens from the oceanic and coastal regions, suggesting segregation between the stocks. Otoliths of *L. jocu* from Fernando de Noronha were also analyzed for the patterns of age and growth of the species in the region. Data made available by ICMBio regarding the fishing monitoring conducted on the island also allowed characterizing the fishing of the species. The main fishing grounds, fishing gear employed and catch period were identified. Age and growth parameters were also defined

according to Von Bertalanffy's model, comparing the growth curve obtained with other studies for the species developed in continental regions. The information obtained in this study helps to understand the ecological and biological characteristics of *L. analis* and *L. jocu*, thus providing subsidies that may contribute to the development of management and conservation measures for these species in the studied region.

Keywords: Spawning aggregations. Fisheries. Management. Otolith chemistry. Stock. Reef fishes.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	ESTRUTURA DA TESE.....	14
<b>2</b>	<b>ARTIGO 1 - SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF MUTTON AND DOG SNAPPERS SPAWNING AGGREGATIONS IN THE SOUTHWEST ATLANTIC.....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>ARTIGO 2 - ESTRUTURA POPULACIONAL DE <i>Lutjanus jocu</i> NO ATLÂNTICO SUDOESTE: IDENTIFICAÇÃO DE ESTOQUES OCEÂNICOS E COSTEIROS A PARTIR DE MARCADORES GEOQUÍMICOS EM OTÓLITOS.....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>ARTIGO 3 - IDADE, CRESCIMENTO E PESCA DO DENTÃO (<i>Lutjanus jocu</i>) EM FERNANDO DE NORONHA, UMA ILHA OCEÂNICA NO NORDESTE DO BRASIL.....</b>	<b>65</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>87</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>89</b>
	<b>APÊNDICE A – PREPARAÇÃO HISTOLÓGICA DAS GÔNADAS.....</b>	<b>94</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Conhecidos internacionalmente como *snappers*, e no Brasil como vermelhos, os Lutjanídeos encontram-se distribuídos nos ambientes marinhos das regiões tropicais e subtropicais dos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico, onde destacam-se como importante recurso pesqueiro (Claro e Lindeman, 2008; Froese & Pauly, 2019). Sua zona de ocorrência coincide com a distribuição dos ambientes recifais, aos quais normalmente estão associados, apresentando predominantemente hábito demersal (Claro & Lindeman, 2008). Esta família é composta por dezessete gêneros e 113 espécies, com comprimentos que variam de poucos centímetros a mais de 1,5m (como o *Lutjanus cyanopterus*) (Carpenter, 2002; Fricke et al., 2020). Em geral, apresentam corpo oblongo, moderadamente comprimido, com cabeça triangular e focinho pontiagudo (Claro & Lindeman, 2008). A maioria das espécies são predadores de crustáceos e peixes na fase adulta, com hábito zooplantívoro durante a fase larval (Claro e Lindeman, 2008; Froese & Pauly, 2019). Todos os Lutjanídeos são gonocoristas, sem dimorfismo sexual aparente na maioria das espécies (Carpenter, 2002; Claro e Lindeman, 2008). Apresentam desovas por lotes (*batch spawners*) com indivíduos desovando geralmente várias vezes ao longo da estação reprodutiva; seus ovos e larvas são pelágicos (Grimes, 1987; Carpenter, 2002). São espécies de vida longa, crescimento lento, e taxas de mortalidade natural relativamente baixas (Manooch, 1987; Carpenter, 2002).

Dentre os Lutjanídeos, *Lutjanus analis* (*mutton snapper*/cioba) e *Lutjanus jocu* (*dog snapper*/dentão) são importantes alvos da pesca artesanal no Nordeste brasileiro (Frédou & Ferreira, 2005; Costa et al., 2005; Martins et al., 2006; Freitas et al., 2011). Estas espécies possuem hábito predominantemente marinho, podendo também ocorrer em estuários (Claro & Lindeman, 2008; Aschenbrenner et al., 2016). São conhecidos por apresentar distribuição ontogenética ao longo da plataforma continental em um gradiente de profundidade (distribuição *cross shelf*), com juvenis recrutando em ambientes costeiros (recifes e mangues), migrando para regiões mais profundas, até a quebra da plataforma continental, ao longo do seu ciclo de vida, de maneira que os adultos são encontrados associados a fundos rochosos ou coralíneos em profundidades que podem ultrapassar 100m (Allen, 1985; Frédou & Ferreira, 2005; Claro & Lindeman, 2008; Moura et al., 2011). Sua captura no Atlântico Ocidental se dá predominantemente com o uso da linha e anzol, mais especificamente a arte da linha de mão na costa do Brasil (Olavo et al., 2005; Claro e Lindeman, 2008).

Estas espécies apresentam o comportamento de reunir um grande número de indivíduos para reprodução, em eventos conhecidos como agregações reprodutivas (Domier & Colin,

1997). As agregações reprodutivas podem ser classificadas em dois tipos: transientes e residentes. Agregações residentes reúnem peixes de regiões próximas (dentro ou nos arredores da sua área de residência/*home range*), e normalmente ocorre em momentos específicos do dia; são rápidas (duram apenas poucas horas ou menos); e ocorrem diariamente durante o período de reprodução, que é frequente, podendo persistir até o ano inteiro (Domeier & Colin, 1997; Domeier, 2012). São comuns em espécies de pequeno porte e herbívoros. Agregações reprodutivas transientes geralmente reúne indivíduos de uma área relativamente grande, fora da área de residência tipicamente utilizado pelos adultos (Domeier, 2012). Normalmente ocorrem durante um período específico do ano, por um ou dois meses, persistindo por alguns dias ou semanas (Domeier & Colin, 1997). Comuns em espécies de porte relativamente maior, predadores de topo de cadeia alimentar. A diferença entre residentes e transientes, no entanto, não se limita apenas à frequência, duração da desova e distância percorrida, mas também ao esforço despendido para a reprodução, mais concentrado em transiente e disperso em residente (Nemeth, 2009; Kobara et al. 2013). *Lutjanus analis* e *L. jocu* têm sido classificadas como espécies com agregações reprodutivas do tipo transiente (Domeier e Colin, 1997; Nemeth, 2009; Domeier, 2012).

As agregações reprodutivas transientes geralmente estão relacionadas a características ambientais específicas (feições de fundo) e momentos específicos do ano (estação) ou do mês (fase lunar), tornando-as previsíveis, o que aumenta sua vulnerabilidade (Burton et al., 2005; Sadovy de Mitcheson & Colin, 2012). Agregações reprodutivas de Lutjanídeos têm sido reportadas ocorrendo geralmente próximos ao talude, na borda das plataformas continentais, em áreas com relevo complexo onde o sistema de circulação permite a dispersão das larvas para locais próximos ou distantes (Claro & Lindeman, 2008; Kobara & Heyman, 2010; Colin, 2012; Kobara et al., 2013; Farmer et al., 2017). Desta forma, alguns sítios, devido às suas características ambientais específicas, são favoráveis aos eventos de desova, podendo ser compartilhado por diferentes espécies ou até famílias, que em suas estações de reprodução visitam a região (Kadison et al., 2006; Heyman & Kjerfve, 2008; Claro et al., 2009; Biggs & Nemeth, 2016; Sakaue et al., 2016). Sítios de agregação multiespecíficos requerem especial atenção, tanto por constituírem habitats essenciais, como por serem áreas de particular importância ecológicas e econômicas (Claro & Lindeman, 2008).

Uma vez agregados, a dinâmica da desova se dá por meio de pequenos grupos que deixam o grande cardume e sobem em espiral na coluna d'água, liberando os gametas próximo à superfície (Colin, 2012; Carpenter, 2002). Este fenômeno se dá normalmente no período do crepúsculo ou à noite (Sadovy de Mitcheson & Colin, 2012). O evento da agregação reprodutiva

é também responsável pela atração de outras espécies, que se alimentam da nuvem de ovos formada, como por exemplo o tubarão baleia (*Rhincodon typus*), reportado em desovas do *L. cyanopterus* e *L. jocu* em Belize (Heyman et al., 2001).

Agregações reprodutivas de *L. analis* e *L. jocu* têm sido identificadas e estudadas em diferentes regiões do Atlântico Tropical, como em US Virgin Islands (*L. jocu*: Kadison et al., 2006; Biggs & Nemeth, 2016); Tortugas, Florida (*L. analis*: Burton et al., 2005; Feeley et al., 2018); Cuba (*L. analis* e *L. jocu*: Claro & Lindeman, 2003); México (*L. analis*: Castro-Pérez et al., 2018) e Belize (*L. jocu*: Carter & Perrine, 1994; *L. analis*: Granados-Dieseldorff et al., 2013). Muitas destas agregações foram por muito tempo alvo de intensa pesca devido à sua previsibilidade espacial e temporal, o que contribuiu para que muitas delas fossem gravemente comprometidas, e algumas agregações extintas (Sadovy de Mitcheson et al., 2008; Chollett et al., 2020). Iniciativas de recuperação e preservação de agregações reprodutivas têm sido implementadas em todo o mundo, com o uso de medidas como áreas marinhas fechadas ou cotas para a pesca, que têm se mostrado efetivas (Beets & Friedlander, 1998; Heyman et al., 2005; Claro et al., 2009; Granados-Dieseldorff, et al., 2013; Heyman et al., 2019).

Conhecer onde e quando as agregações reprodutivas de espécies de importância ecológica e pesqueira ocorrem é fundamental para o manejo destes recursos de forma a garantir a manutenção das populações e sustentabilidade da pesca. Associado a isso, torna-se importante também conhecer os padrões de recrutamento dos juvenis após os eventos de desova, assim como a estrutura populacional destas espécies em sua zona de ocorrência, para que medidas de manejo efetivas e eficazes possam ser implementadas.

Uma ferramenta que tem se mostrado bastante promissora em estudos sobre uso de habitats, estrutura populacional e discriminação de estoques é a análise geoquímica de otólitos, aplicada com sucesso para diversas espécies de peixes (Rooker et al., 2001; Albuquerque et al., 2010; Daros et al., 2016; Tanner et al., 2016; Aschenbrenner et al., 2016; Fraile et al., 2016). Os otólitos, estrutura cristalina presente no ouvido interno dos peixes ósseos, são capazes de reter em sua composição características dos ambientes utilizados pelo indivíduo ao longo do seu ciclo de vida (Thorrold et al. 1997; Green et al., 2009). Por serem metabolicamente inertes, não têm sua composição alterada, sendo eficazes registros da trajetória ambiental do peixe (Stevenson & Campana, 1993; Thorrold et al., 1998; Campana, 1999; Avigliano & Volpedo, 2015).

Os peixes ósseos apresentam 3 pares de otólitos: sagittae, lapilli e asterisci, com características de forma e tamanho variando de acordo com a espécie. O sagittae geralmente é o maior deles e mais comumente aplicado em pesquisas. Otólitos podem ser definidos como

concreções calcáreas formadas pela precipitação de substâncias presentes no fluido endolinfático (Rossi-Wongtschowski, 2015). São compostos por cristais de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) depositados em uma matriz proteica, podendo ser cristalizado em três diferentes formas: aragonita, vaterita ou calcita. Nos sagitta e no lapillus normalmente o carbonato é cristalizado na forma de aragonita e no asteriscus na forma de vaterita (Green, 2009; Rossi-Wongtschowski 2015). A presença de cristalização na forma de calcita é mais rara, normalmente associada a situações anômalas (Campana, 1999). Esta deposição carbonática é um processo contínuo ao longo de toda a vida do peixe. Os elementos químicos disponíveis na água são incorporados no sangue a partir da absorção pelas brânquias ou intestino, chegando à endolinfa e sendo por fim cristalizados nos otólitos (Campana, 1999). Além da composição química da água, características do ambiente, como temperatura e salinidade, a alimentação do peixe, e a fisiologia do organismo podem contribuir para a composição química dos otólitos (Thorrold et al. 1997; Secor & Rooker, 2000). A análise química de otólitos vem como uma inovação capaz de elucidar padrões de conectividade entre habitats, possibilitando uma melhor compreensão do ciclo de vida de peixes, além do seu potencial para discriminação de estoques, elemento fundamental para o manejo pesqueiro (Campana, 1994; Thorrold et al., 1998; Rooker et al. 2008).

Além da investigação da composição química, otólitos são também amplamente aplicados na caracterização de parâmetros de idade e crescimento do animal (Sparre & Venema, 1997). À medida que o indivíduo cresce, fatores como reprodução, migração, temperatura e disponibilidade de alimentos interferem na fisiologia e alteram a quantidade de energia disponível para o crescimento somático; desta forma, alteram também a taxa de deposição dos otólitos, levando à formação de zonas mais calcificadas (opacas) e zonas menos calcificadas (translúcidas) (Saborido-Rey & Kjesbu, 2005; Vaz-dos-Santos, 2015). Para estudos de idade é necessária a validação da periodicidade de formação destas bandas – normalmente com um par de bandas (uma marca opaca e uma translúcida) formando ciclos diários em uma análise microestrutural, ou anuais, em uma análise macroestrutural (Green et al, 2009; Vaz-dos-Santos, 2015). Uma vez validadas, estas bandas podem ser utilizadas para determinação da idade do peixe. A partir da verificação da idade é possível determinar os parâmetros de crescimento da população analisada e aplicá-las a modelos específicos, como o de Von Bertalanffy, que permitem estimar as relações entre comprimento e idade (von Bertalanffy 1938). Estas informações são bastante úteis para a caracterização de determinada população, e elaboração de medidas de manejo adequadas às características da população local.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar e validar agregações reprodutivas de *L. analis* e *L. jocu* em um gradiente latitudinal da costa brasileira, e investigar padrões da estrutura populacional de *L. jocu* em regiões oceânicas e costeiras.

## 1. 1 ESTRUTURA DA TESE

A tese está estruturada em três capítulos, apresentados em formato de artigo. O primeiro artigo traz resultados da investigação sobre as agregações reprodutivas, que contou com a análise de indicadores diretos e indiretos, permitindo identificar e validar sítios de desova da cioba e do dentão ao longo da costa dos estados de Pernambuco, Alagoas e Bahia. Para o estudo da estrutura populacional *L. jocu* foi a espécie alvo, por ser o único Lutjanídeo de águas rasas com população estabelecida e explorada pela pesca nos montes submarinos e ilha oceânica do Nordeste. Esta abordagem contou com a investigação dos padrões de conectividade e estrutura de estoques de exemplares provenientes da zona costeira, e região oceânica (montes submarinos e ilha de Fernando de Noronha) (segundo artigo) e com a caracterização dos padrões de idade, crescimento e pesca da espécie em Fernando de Noronha (terceiro artigo).

O desenvolvimento deste estudo, à medida que proporcionará um melhor conhecimento dos eventos reprodutivos do dentão e da cioba, e entendimento sobre uso de habitats e estrutura populacional do dentão em regiões oceânicas e costeiras, fornecerá subsídios que poderão ser utilizados para a elaboração de estratégias de manejo que visem à continuidade da pesca de forma sustentável, tendo em vista a importância destas espécies como recurso alimentar e fonte de renda para diversas comunidades pesqueiras do Brasil, especialmente no Nordeste (Costa et al., 2005).

## 2 ARTIGO 1 - SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF MUTTON AND DOG SNAPPERS SPAWNING AGGREGATIONS IN THE SOUTHWEST ATLANTIC

Aline R. França<sup>a</sup>, George Olavo<sup>b</sup>, Sergio M. Rezende<sup>c</sup>, Beatrice P. Ferreira<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratório de Estudos em Ecossistemas Oceânicos e Recifais, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Brazil.

<sup>b</sup> Laboratório de Biologia Pesqueira, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Universidade Estadual de Feira de Santana, Brazil.

<sup>c</sup> Centro Nacional de Pesquisa e Conservação da Biodiversidade Marinha do Nordeste, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Tamandaré, Brazil

Article published at **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems** (DOI: <https://doi.org/10.1002/aqc.3536>)

### 2.1 Abstract

1. Sites and periods of spawning aggregations of two important fishery resources, the mutton snapper, *Lutjanus analis*, and the dog snapper, *Lutjanus jocu*, were identified and validated along the Brazilian Northeast coast (lat 8°S to 15°S), using exploratory analysis of catch and effort data (CPUE), gonadosomatic index analysis, and gonad histology.

2. The CPUE analysis for both species allowed the identification of outliers and far outliers, representing fisheries with exceptional catches, which were used as proxies of possible aggregation.

3. The presence of pre-spawning and recent spawning signs (hydrated oocytes and post-ovulatory follicles) in the ovary of females caught at sites with recurrent records of high CPUE allowed the validation of spawning activity at those specific sites for each species. All aggregation sites identified in this study were located on the outer shelf, close to the shelf break, a region that has been declared an Ecologically and Biologically Significant Marine Area (EBSA/CDB).

4. Comparison of two sub-regions showed significant differences in size structure of the fish sampled during landings, suggesting a fishing depletion effect in the north region.

5. For both species, reproduction peaked twice in all regions studied with a more marked peak during summer. However, spawning activity was observed in almost every month of the year, suggesting that seasonal closures could be more effective if combined with spatial measures.

6. In the northern part of the study range, spawning grounds were found to lie just outside of the boundaries of one of Brazil's largest Marine Protected Area (MPA). Inclusion of those grounds in the MPA would increase protection of these species and also mean increased protection of an EBSA area, encompassing mesophotic reefs.

7. The identification of these spawning aggregations sites on the Northeast coast of Brazil was conducted in collaboration with local fishers, that traditionally use bottom handline. Co-management approaches are suggested in view of the importance of these fishing sites for traditional fishing communities that may also face threats due to encroachment of mobile fleets.

Keywords: Brazil, coastal, fish, fisheries management, fishing, *Lutjanus analis*, *Lutjanus jocu*, ocean, reef, reproduction

## 2.2 Introduction

Several commercially important species of reef fish perform transient spawning aggregations, events involving the gathering of up to hundreds of individuals of the same species at specific sites and periods to reproduce (Domeier & Colin, 1997; Domeier, 2012). The selection of these sites by species is usually related to characteristic environmental conditions, such as geomorphological features of the seabed, local hydrodynamics, and water temperature (Kobara & Heyman, 2010; Colin, 2012; Kobara et al., 2013; Farmer et al., 2017).

The predictability of this phenomenon, as a result of the high degree of spatio-temporal fidelity of fish spawning aggregations (FSAs), makes them especially vulnerable to fishing (Burton et al., 2005; Sadovy de Mitcheson & Colin, 2012). In this way, FSAs worldwide are being extirpated through overfishing (Chollett et al., 2020). Fishery management tools, such as the creation of temporary or permanent protected areas or the establishment of quotas, have been used in several regions of the world where these aggregations were identified (Beets & Friedlander, 1998; Heyman et al., 2005; Claro et al., 2009; Granados-Dieseldorff, Heyman & Azueta, 2013; Heyman et al., 2019). In Brazil, several studies have investigated aspects of reef fish reproductive biology, however, little is known about the possible occurrence of reproductive aggregations. Some spawning sites have been identified for the cubera snapper (Ferreira et al., 2018) and for groupers (Bertoncini et al., 2013; Freitas et al., 2018), including the emblematic goliath grouper (Gerhardinger, Bertoncini & Hostim-Silva, 2006; Ferreira et al., 2014; Bueno et al., 2016). For the mutton and dog snappers, and also for the black grouper, initial studies of França & Olavo (2015) allowed first indications of FSA occurrence in the Bahia state continental shelf. However, presently, no specific legislation foresees the protection

of their spawning events and many other species that are of ecological and fishing importance remain with their reproductive aggregations unknown in the South Atlantic.

The mutton snapper, *Lutjanus analis*, and the dog snapper, *Lutjanus jocu*, are reef fish species that are prime fishery targets throughout their distribution (Lindeman et al., 2016a; Lindeman et al., 2016b). These species are found in the Atlantic Ocean from the United States to the Southeast of Brazil, with occurrence records of dog snapper also in the Mediterranean (Lindeman et al., 2016b; Vacchi et al., 2010). These species are among the main targets of the demersal fishing fleet on the Northeastern coast of Brazil (Frédou, Ferreira & Letourneur, 2006; Lessa, 2006; Martins et al., 2006) and have been reported to present the habit of gathering in large species-specific aggregations for spawning in the Gulf of Mexico and Caribbean (Carter & Perrine, 1994; Biggs & Nemeth, 2016; Feeley et al., 2018).

For the identification of this phenomenon, two investigative approaches are suggested, analysis of indirect and direct indicators (Domier & Colin, 1997; Colin, Sadovy & Domeier, 2003). Indirect indicators point to probable spawning aggregations from the investigation of elements, such as an increase in commercial catches at specific sites and periods, observation of gathered females with swollen abdomens, or changes in the coloring pattern associated with spawning behavior. Direct indicators, in turn, provide unequivocal evidence to validate the reproductive character of an aggregation, such as visual recording of spawning in situ or verification of the presence of hydrated oocytes or post-ovulatory follicles in the ovaries of females caught in aggregations, considered as signs of imminent spawning and recent spawning, respectively (Colin, Sadovy & Domeier, 2003).

The time and location of spawning aggregations is strategic information to guide conservation measures needed to maintain sustainable fisheries (Erisman et al., 2017; Farmer et al., 2017; Grüss et al. 2018). In spite of their importance and vulnerability, there are no direct measures to protect marine FSAs in Brazil, and very little is known about their conservation status. In this way, the present study aimed to identify and validate sites and periods of spawning aggregations of mutton and dog snappers on their main fishing grounds in the Brazilian coast in order to contribute to their conservation and sustainability.

### **2.3 Methods**

The methodology used included the investigation of direct and indirect indicators of spawning aggregation (Colin, Sadovy & Domeier, 2003). An exploratory analysis of handline fishing catch and effort data and verification of the gonadosomatic index distribution pattern

from individuals of the target species were developed and considered indirect indicators. To validate spawning activity during aggregations at specific sites and periods, gonad histology was used and considered a direct indicator.

### 2.3.1 Data

During the period from February 2009 to December 2014, data were collected from artisanal handline fisheries as part of the Pro-Arribada Project, a national research effort to identify spawning aggregations of reef fish in Brazil. The choice of handline fishing gear was based on its importance in catching the target species and associated traditional knowledge by fishers in the study area, this assuring the quality of the catch and effort data specific to the intended analyses, particularly regarding specific knowledge on the location of fishing grounds (Frédou & Ferreira, 2005; Olavo et al., 2005; Costa et al. 2005). Landings from handline fisheries in two regions along the coast of Northeast Brazil were sampled, one to the south in the state of Bahia and another to the north, involving the states of Pernambuco and Alagoas (PE/AL) (Figure 1).

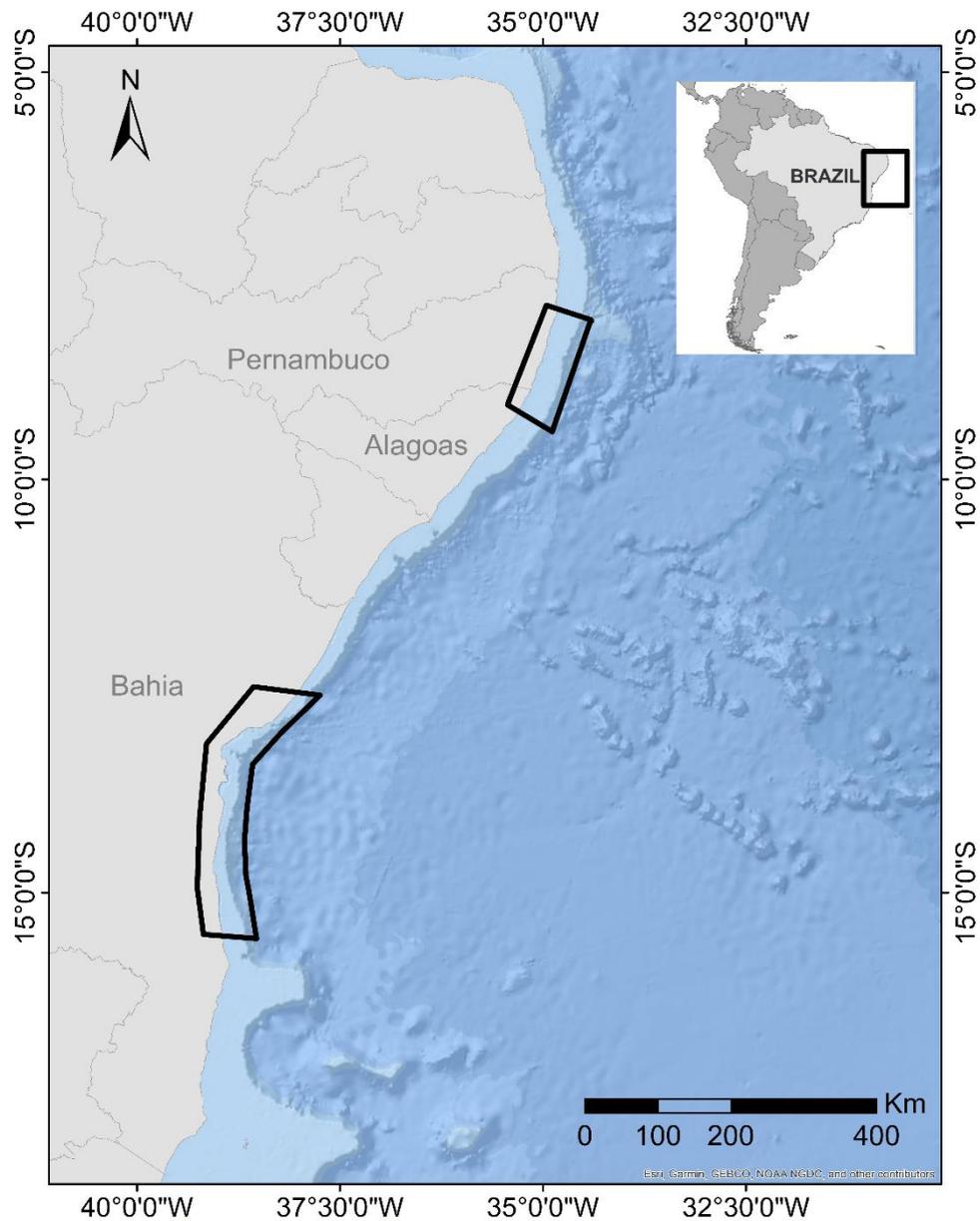


Figure 1. Study area in the Northeast of Brazil, with the operating area of the fleet monitored in the states of Bahia and Pernambuco/Alagoas highlighted in the black polygons.

Handline fleets from three fishing communities were monitored in the state of Bahia (Valença, Camamu, and Itapuã) and three in Pernambuco/Alagoas (São José da Coroa Grande, Tamandaré, and Maragogi). Additional data came from the Participatory Monitoring of Fishing Landings Project conducted by Petrobras in 12 fishing communities in the Camamu-Almada basin region (state of Bahia), as a license condition from government environmental agencies for oil and gas exploitation in this area (Table 1).

Table 1. Characteristics of sampled landings and data analyzed in the study area, with the number of fishing trips sampled by each database, number of fishing trips with catch of each species, number of fish sampled, and number of gonads collected (females) in each locality by species for mutton snapper (*L. analis*) and dog snapper (*L. jocu*)

Database	Locality	Period	Sampled communities	Sampled boats	Total fishing trips sampled	Fishing trips with catch of the species		Sampled fish		Gonads collected	
						<i>L. analis</i>	<i>L. jocu</i>	<i>L. analis</i>	<i>L. jocu</i>	<i>L. analis</i>	<i>L. jocu</i>
Pró-Arribada	Bahia	2009–2014	3	13	178	112	105	911	770	140	68
	PE/AL	2009–2014	3	43	208	164	125	2030	511	547	96
Petrobras Data	Bahia	2005–2013	12	615	10420	2768	1015	-	-	-	-

During all landings, the total weight of the catch by species, dates of departure and arrival, number of fishermen on board during the fishing trip, and area where the fishery was carried out (fishing site) were recorded. As the carbonatic shelf is marked by specific bottom features (Olavo et al., 2011; Camargo et al., 2015; da Silveira et al., 2020), fishing sites are typically named after a combination of a fisher name (that discovered or fished there often) and the related bottom feature (paleochannels, reef, steps) or depth strata (França & Olavo, 2015). Those names were provided during landings and could also be associated with a reference point on land (in front of such location). To confirm more precisely the location of these fishing sites, interviews were conducted with local experts who either confirmed or provided more details on the spatial location of these sites. As the use of GPS is not common among traditional bottom line fishers, access to their fishing territories depends on the combination of those references.

In fishery monitoring conducted during the Pro-Arribada Project, biological sampling was also performed. Fish were measured to the nearest centimeter (FL and TL), weighed after being eviscerated, and the gonads of the target species were collected. The Kolmogorov-Smirnov test was used to compare the length distribution of catches between the two regions for each species.

In this study, the gonads were obtained during commercial fishery landings, in partnership with the local fishing communities. In both regions, fleets were composed of small-scale motorized boats operating with bottom handline, however, the two regions presented different fish processing dynamics aligned to local market traditions. While in

Pernambuco/Alagoas (PE/AL), the fish were gutted during the fishing trip, in Bahia they were landed and refrigerated whole, being gutted only when sold under inspection of customers. Thus, two sampling strategies were adopted; in the northern site (Pernambuco and Alagoas state), an agreement was made with the fishermen to keep the gonads in the belly cavity while gutting the fish to then be sampled during landing. In the southern site (Bahia state), gonads were obtained one by one during commercialization after landing, however, as not all samples were sold immediately, access was limited to a smaller number of gonads in comparison to the northern site.

### 2.3.2 Exploratory analysis of catch and effort data

Each fishing trip was considered a sampling unit in the analysis of handline fishing data. Only landings from fishing trips with positive catches of the target species (mutton and dog snappers) were analyzed. Exploratory analysis of the distribution of catches per unit of effort per trip (individual CPUE) was conducted to identify sites and periods recurrently related to large catches. The individual CPUE were assumed as a relative abundance index and calculated by the equation  $CPUE = C_s / (F * D)$ , where  $C_s$  was the total catch in kilograms of the species (s) on the fishing trip,  $F$  represented the number of fishermen on board during the fishing trip, and  $D$  represented the duration of the fishing trip, measured as the days of effective fishing.

The monthly distribution analysis of individual CPUE values was explored by plotting boxplots of the data series for the identification of extreme points, outliers, and far outliers of CPUE. The boxplot is represented by a box limiting the percentiles of 25% (1st quartile) and 75% (3rd quartile) of the sample distribution and an internal line representing the median. Vertical lines adjacent to the box, top and bottom, show the continuity of the distribution up to 1.5 times the interquartile distance, i.e. 1.5 times the range of the box, between the 25% and 75% percentiles (Benjamin, 1988). Values exceeding the limits of 1.5 and 3.0 times the interquartile distance were represented by asterisks (outliers) and small circles (far outliers), respectively.

In the context of this study, outliers and far outliers represented fisheries that had excelled in a high CPUE. The spatial (site) and temporal (month) origin of those catches were identified and considered as sites and times of possible aggregations (França & Olavo, 2015). The austral seasons were considered for the interpretation of the results: spring (September 22 to December 21), summer (December 21 to March 20), autumn (March 20 to June 20), and winter (June 20 to September 22).

### 2.3.3 Gonadosomatic index and histological analysis

The analysis considered a total of 851 female gonads collected from the target species, 208 in Bahia and 643 in Pernambuco/Alagoas (Table 1). After collection, the gonads were weighed and then immediately fixed in FAACC solution (4% formalin, 5% acetic acid, 1.3% calcium chloride) (Ferreira, 1993) or 10% formaldehyde with subsequent preservation in 70% alcohol. The gonadosomatic index (GSI), calculated by the equation  $GSI = Wg/We*100$ , was used to verify the spawning period, where  $Wg$  represented the weight of the gonad and  $We$  the eviscerated weight of the fish. Due to the low representativity of males in the sample, only female gonads were considered.

Histological analysis of female gonads was performed to verify spawning activity. A median cross-section of the gonad was taken for histological preparation, initiated by tissue dehydration in alcohol, diaphanization in xylol, followed by paraffin embedding, microtome cutting, and staining (hematoxylin-eosin). The slides were analyzed following the histological classification proposed by Brown-Peterson et al. (2011). Special attention was directed to detection of post-ovulatory follicles or hydrated oocytes, indicators of recent and imminent spawning, respectively. The post-ovulatory follicles were classified at different stages of reabsorption to differentiate the more recent from the older ones (Jackson, Nieland & Coawan, 2006; Ganas, Nunes & Stratoudakis, 2007).

## 2.4 Results

### 2.4.1 Fishing catch and effort

The highest CPUE values were observed from April to July (autumn/winter) in Bahia and from September to March (spring/summer) in PE/AL for both species (Figure 2). Mutton snapper presented a global average CPUE (considering the whole sample period) of 2.49 kg/fisherman.day in Bahia and 0.82 kg/fisherman.day in Pernambuco. Dog snapper had a CPUE global average of 3.20 kg/fisherman.day in Bahia and 0.57 kg/fisherman.day in Pernambuco.

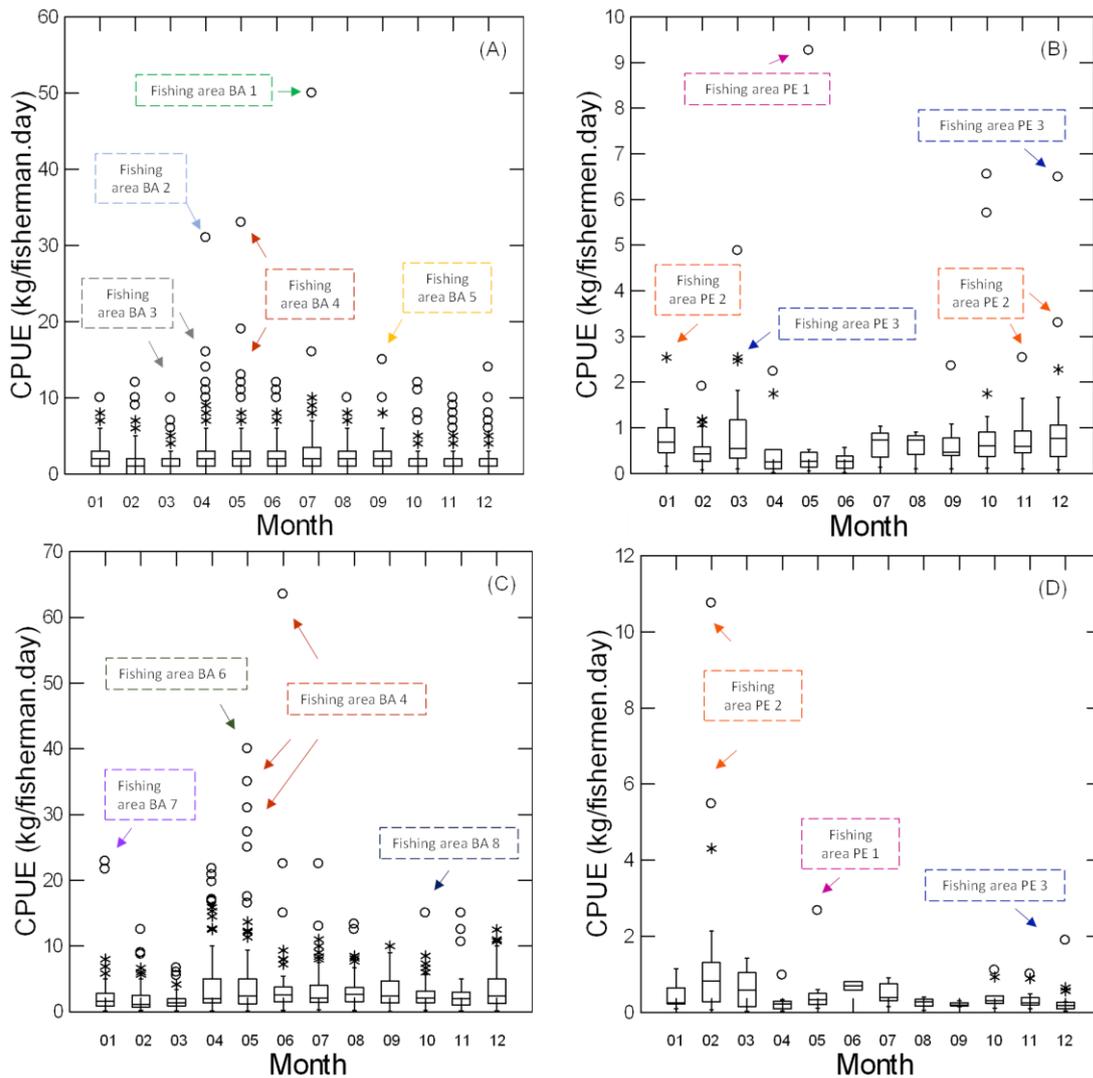


Figure 2. CPUE distribution of mutton snapper in Bahia (A) ( $n = 2768$  landings sampled between 2005 and 2013) and PE/AL (B) ( $n = 164$  landings sampled between 2009 and 2013), and of dog snapper in Bahia (C) ( $n=1015$  landings sampled between 2005 and 2013) and in PE/AL (D) ( $n=125$  landings sampled between 2009 and 2013), grouped by month for all monitored years. Arrows indicate fishing sites with recurring CPUE peaks, potential spawning aggregation sites. Asterisks represent outliers and circles, far outliers.

The analysis of CPUE distribution for mutton and dog snapper allowed the identification of outliers and far outliers, representing fishing events with exceptional values, an indicator of possible spawning aggregations (Figures 2). The real names of those fishing grounds are not revealed and were replaced by alphanumeric codes to protect local ecological knowledge, as well as the aggregations themselves, as to this date there are no protective measures in place for those areas.

For both species in the entire study area, most of the individuals sampled were above the length at first maturity (Figure 3). During the landings monitored in Bahia state, 911 specimens of mutton snapper were sampled, with a total length (TL) ranging from 28 to 87 cm. In PE/AL, 2030 individuals of this species were sampled, with TL distributed between 14.8 and 92 cm (Figure 3A). A significant difference was observed in the length distribution of the species between the two regions (Kolmogorov-Smirnov:  $p < 0.001$ ). The modal size classes were at 60–64 cm and 65–69 cm in Bahia, while in PE/AL, smaller sizes were more frequently caught with modal size classes at 40–44 cm.

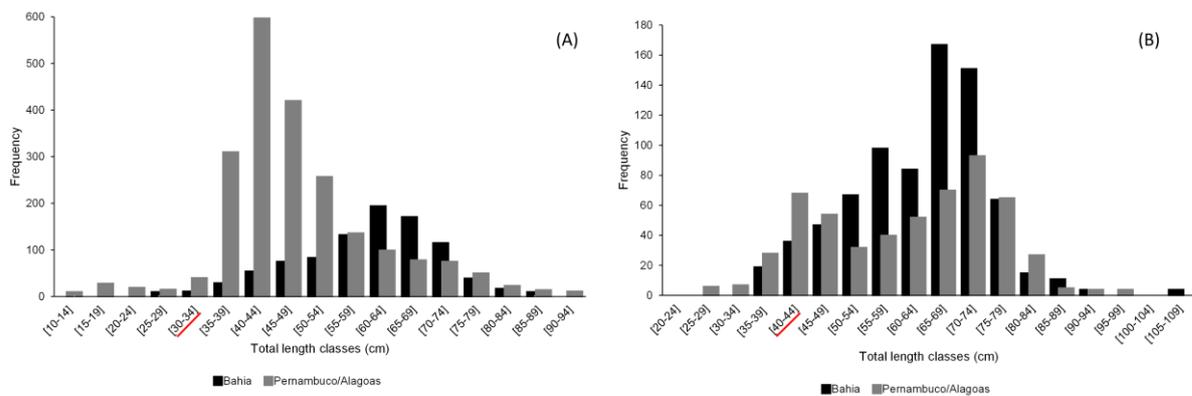


Figure 3. (A) Length frequency for mutton snapper in Bahia state ( $n = 911$ ) and Pernambuco/Alagoas ( $n = 2030$ ); and for dog snapper (B), in Bahia state ( $n = 770$ ) and Pernambuco/Alagoas ( $n = 511$ ). The length class highlighted in red corresponds to the minimum maturation size for both species in the region (Freitas et al., 2011; Teixeira, Duarte & Ferreira, 2010).

For the dog snapper, 770 individuals were sampled in Bahia, with TL distributed between 35.5 and 108 cm. In PE/AL, 511 individuals were sampled, whose lengths ranged from 25.9 to 99.7 cm TL (Figure 3B). In Bahia, the modal classes of 65–69 and 70–74 cm were highlighted and in PE/AL, the classes 40–44 and 70–74 cm, with length frequency having a bimodal structure. A significant difference in the total length distribution between the two regions was observed for this species as well (Kolmogorov-Smirnov:  $p < 0.001$ ).

#### 2.4.2 Gonadosomatic index

The gonadosomatic index (GSI) distribution obtained for mutton snapper is presented in Figure 4A and B, where two peaks can be observed throughout the year at the two studied regions. The highest GSI values for both areas were observed in the summer period, especially

in December. In the autumn/winter period, an increase in GSI values was also observed (May and June in Bahia and April, June and July in PE/AL) (Figure 4).

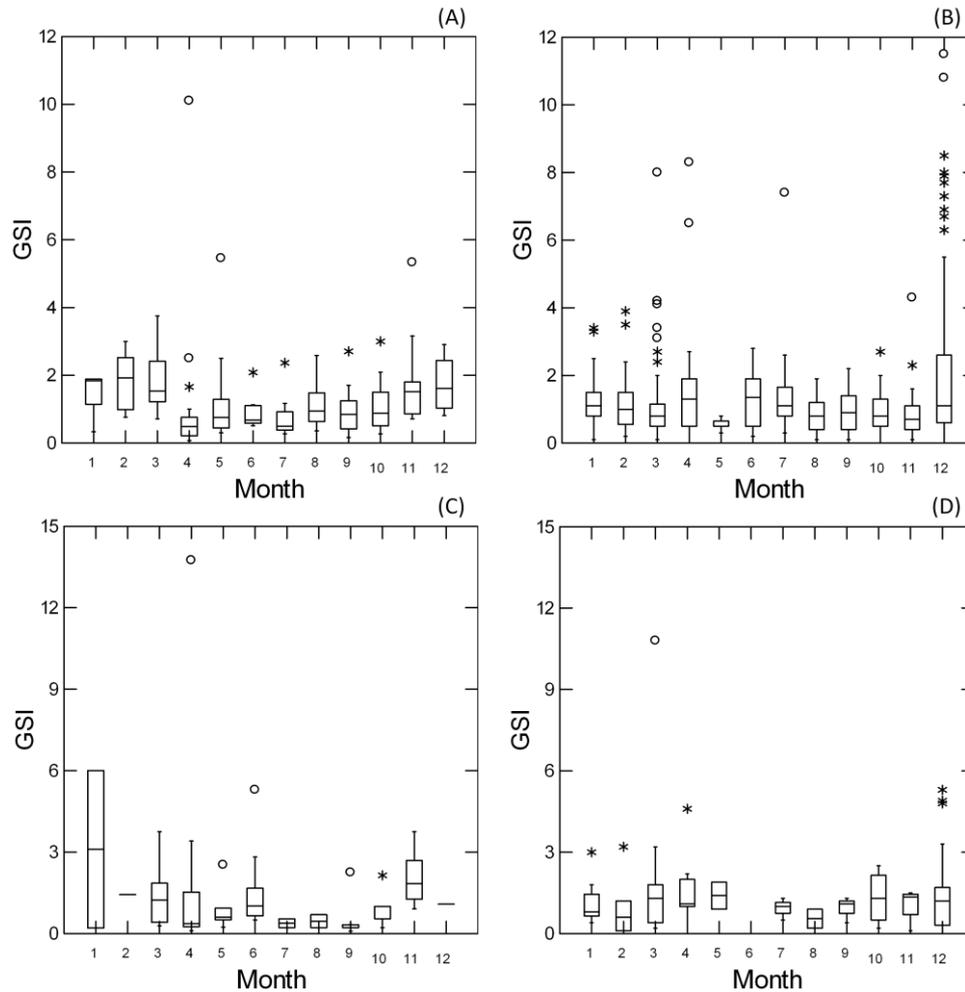


Figure 4. Gonadasomatic index (GSI) variation for the monitored period for mutton snapper in Bahia (A) (n = 140) and PE/AL (B) (n = 547); and for dog snapper, in Bahia (C) (n = 68) and PE/AL (D) (n = 96). The horizontal line inside the boxplots boxes represents the median.

Throughout the year, two periods of high GSI were observed for the dog snapper, in both areas, especially in the summer when high GSI values were detected in both regions (Figure 4C and D). In Bahia, the months March to June, November, and January presented higher values, whereas at PE/AL, the periods from March to May and October to January were the main periods.

### 2.4.3 Gonad histological analysis

Individuals were classified as immature, developing, spawning capable, actively spawning, regressing, or regenerating following Brown-Peterson et al. (2011). For *L. analis*, the analysis of the gonadal development stages distribution showed individuals in spawning activity – gonads with hydrated oocytes, about to hydrate (advanced stage of germinal vesicle migration), or recent post-ovulatory follicle complexes (POFs) – in almost every month of the year in Bahia, except for August and September (Figure 5A). PE/AL also had individuals in this stage in several months of the year, absent only in May, July, and August (Figure 5B).

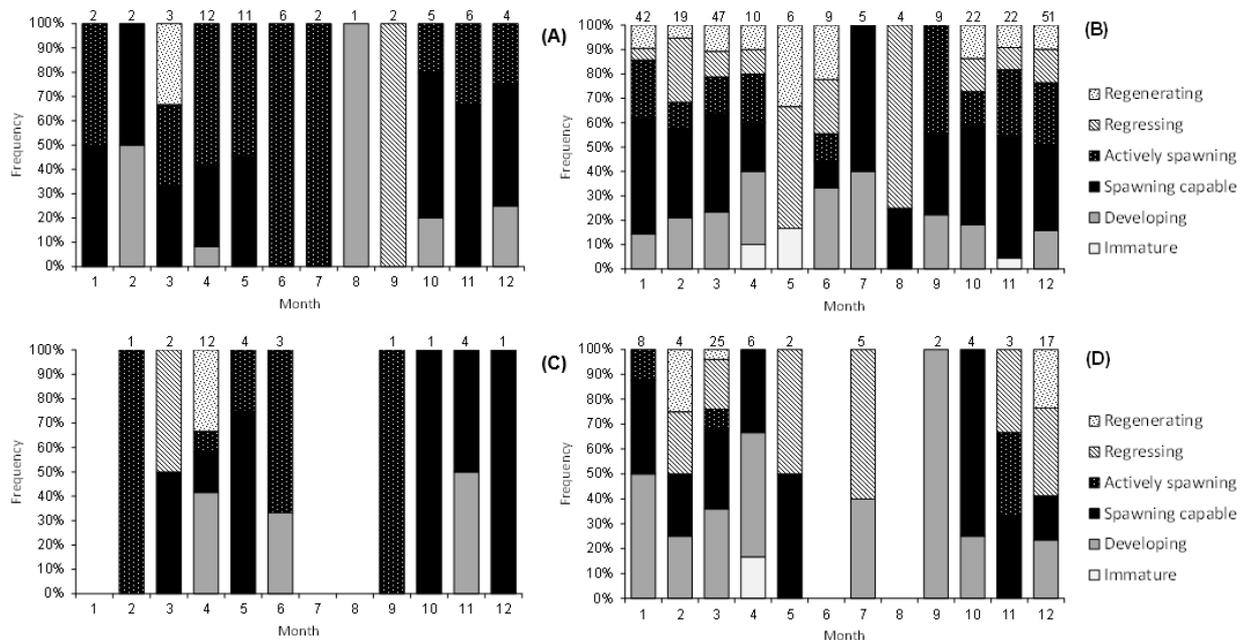


Figure 5. Gonadal developmental phases distribution for females sampled of mutton snapper in Bahia (A) and PE/AL (B) and dog snapper in Bahia (C) and PE/AL (D), with the number of samples histologically analyzed at the top of the columns.

The dog snapper also presented individuals capable of spawning or actively spawning in all months sampled in Bahia and from October to May in PE/AL (Figure 5C and D).

The identification of hydrated oocytes (imminent spawning indicators) and post-ovulatory follicles complex (recent spawning indicators) in the ovary of females caught in places with recurrent records of high CPUE (Figure 2 and 6) allowed the validation of spawning activity at specific sites for each species in the two regions (Bahia and PE/AL) (Table 2 and Figure 7). In Bahia, four fishing sites were identified as mutton snapper spawning places and three were identified as dog snapper. In Pernambuco, seven sites were validated for spawning

activity of the mutton snapper and one for the dog snapper (Figure 7). Two fishing sites were identified as multispecies spawning places in Bahia (Sites 10 and 13), used by both studied species. All identified spawning sites were located on the continental shelf break zone, within the boundaries of an area classified by the Convention on Biological Diversity (CBD) as an Ecologically and Biologically Significant Marine Area (EBSA) (SCDB, 2014) and some of them were also just outside the boundaries of an important marine protection area in Brazil, the Coral Coast APA (APACC) (Figure 7).

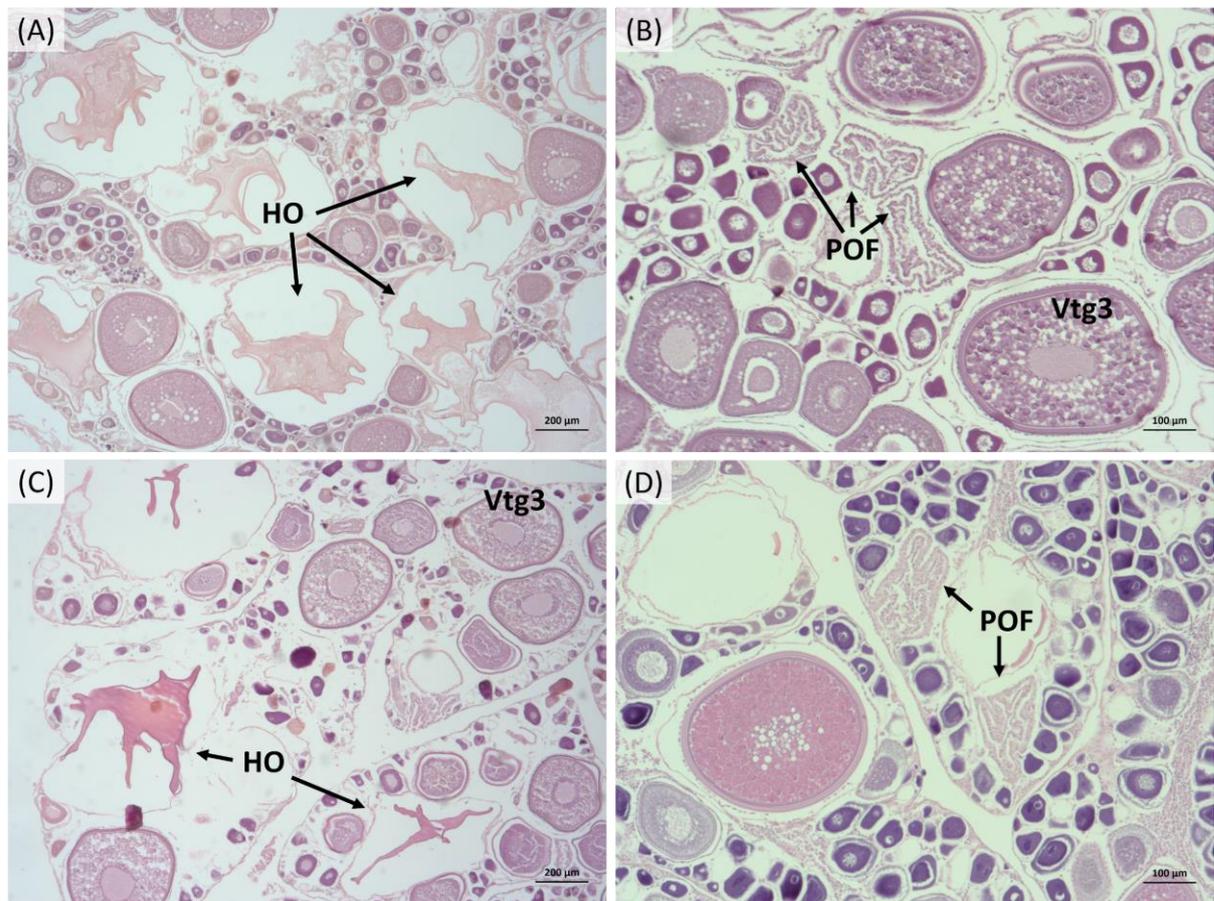


Figure 6. Photomicrographs of ovarian histology from aggregated females with hydrated oocytes (HO) and recent post-ovulatory follicles (POF). (A) and (B) mutton snapper, (C) and (D) dog snapper. Tertiary vitellogenic oocytes (Vtg3) are also present, evidencing the presence of multiple batches.

Table 2. Periods and sites with records of mutton and dog snappers specimens in spawning capable and actively spawning together (SC+AS) and only in the actively spawning stage (AS). The total catch (kg) and CPUE (kg/fishermen\*day) of the largest fisheries for the specified sites and periods is also presented, as well as the number of gonads histologically analyzed for spawning validation at these sites and periods.

State	Site	Species	Station	Month	%SC+AS	% AS†	Total catch of species (kg)	CPUE increase‡ (CPUE value)	Number of gonads
PE/AL	Site 1	<i>L. analis</i>	Spring/Summer	Oct	85.7	42.9	40.0	1.524 (1.25)	7
PE/AL	Site 2	<i>L. analis</i>	Spring/Summer	Oct-Dec, Feb	69.2	30.8	53.2	3.090 (2.53)	13
PE/AL	Site 3	<i>L. analis</i>	Spring/Summer	Jan	90.9	36.4	20.1	0.630 (0.77)	11
PE/AL	Site 4	<i>L. jocu</i>	Spring/Summer	Oct-Nov	75.0	25.0	8.1	0.677 (0.39)	4
PE/AL	Site 5	<i>L. analis</i>	Spring/Summer	Dec	80.0	20.0	26.9	1.215 (1.0)	5
PE/AL	Site 6	<i>L. analis</i>	Autumn/winter	Mar	62.5	12.5	28.8	1.672 (1.37)	8
PE/AL	Site 7	<i>L. analis</i>	Spring/Summer	Dec-Jan	50.0	25.0	18.6	0.946 (0.77)	12
PE/AL	Site 8	<i>L. analis</i>	Spring/Summer	Jan	100	33.3	16.5	0.956 (0.78)	3
PE/AL	Site 8	<i>L. analis</i>	Autumn/winter	Mar	33.3	16.7	87.8	5.951 (4.88)	6
BA	Site 9	<i>L. analis</i>	Spring/Summer	Dec-Jan	100	50.0	29.0	1.293 (3.22)	4
BA	Site 10	<i>L. analis</i>	Autumn/Winter	Apr-Jul	100	75.0	300.0	13.385 (33.3)	11
BA	Site 10	<i>L. analis</i>	Spring/Summer	Nov	100	50.0	60.0	1.506 (3.75)	2
BA	Site 10	<i>L. jocu</i>	Autumn/winter	Apr-May	42.8	14.3	70.0	10.937 (35.0)	7
BA	Site 11	<i>L. analis</i>	Autumn/Winter	Apr-May	100	85.7	90.2	2.264 (5.64)	7
BA	Site 12	<i>L. jocu</i>	Autumn/winter	May	100	50.0	493.0	6.419 (20.54)	2
BA	Site 13	<i>L. analis</i>	Autumn/Winter	Jun	100	100	43.0	0.540 (1.35)	5
BA	Site 13	<i>L. jocu</i>	Autumn/winter	Jun	100	100	100.0	0.976 (3.125)	2

†Percentage of histologically analyzed samples from the specified period and site that were actively spawning

‡Expresses how many times the observed CPUE value was higher than the global average CPUE for each species in each area

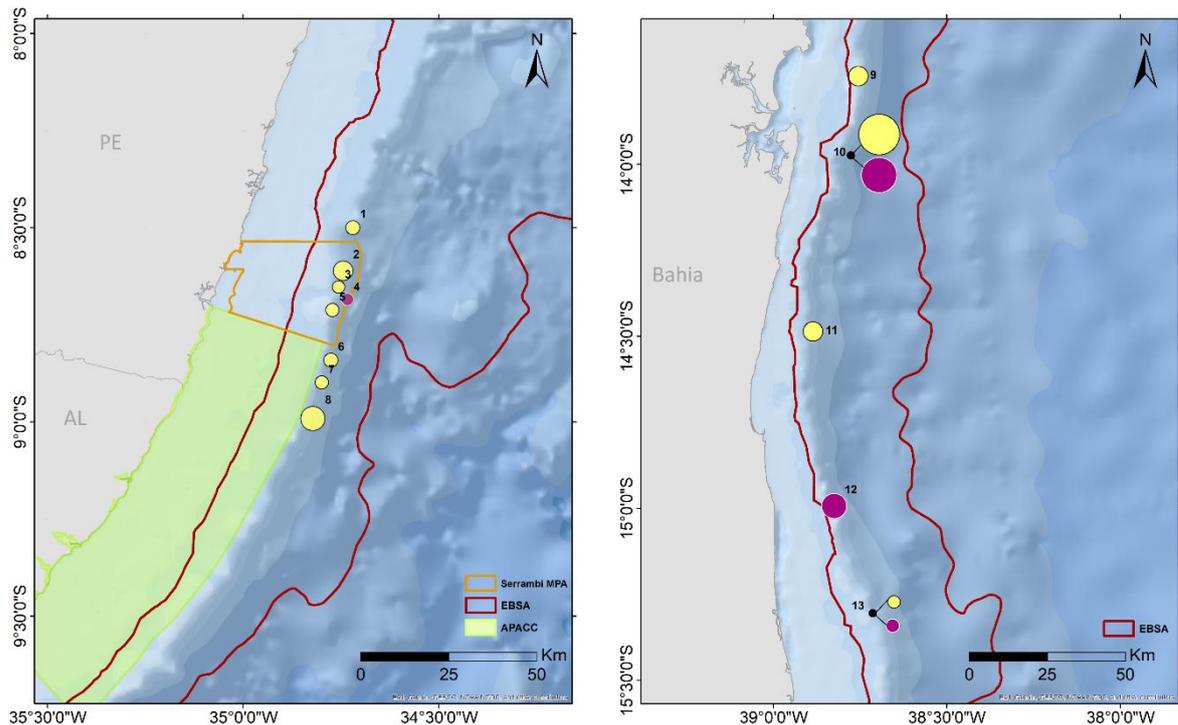


Figure 7. Sites where actively spawning females were found in PE/AL, on the left, and in Bahia, on the right. Circle sizes are proportional to the CPUE increase observed during spawning, relative to the global average CPUE for each species in each location. Sites 10 and 13 recorded spawning activity for both species (Table 2). Yellow represents mutton snapper and purple dog snapper.

## 2.5 Discussion

### 2.5.1 Fishing catch and effort

The analysis of fishing catch and effort data (CPUE) indicated that, in general, the autumn/winter period was the main period for the fishing of mutton and dog snappers in Bahia, while in Pernambuco/Alagoas the highest CPUEs were recorded in spring/summer. This pattern was previously observed in other studies that noted that in Bahia, although the capture of demersal species was observed throughout the year, fishing was directed to these resources primarily in the autumn/winter period, when pelagic species were less available (Costa, Olavo & Martins, 2005; Olavo, Costa & Martins, 2005). In Pernambuco/Alagoas, landings of mutton and dog snapper were more frequent in spring/summer (Lessa, Bezerra & Nobrega, 2009), which may be related to fair weather conditions, and therefore easier access to fishing grounds (Frédou, Ferreira, & Letourmeur, 2006).

During the spawning aggregation period an increase in CPUE is expected (Kobara et al., 2013). This increase in catches (number/density) is expected to be up to four (Domeier, 2012) or at least three times (Colin et al., 2003) what is usually caught outside a spawning situation, to be considered a sign of possible spawning aggregation. In the present study, catch 4 times the average CPUE observed (average CPUE = 2.49 kg/fisherman.day for mutton snapper and 3.20 kg/fisherman.day for dog snapper in Bahia and 0.82 kg/fisherman.day for mutton snapper and 0.64 kg/fisherman.day for dog snapper in PE/AL) would be equivalent to a few individuals, particularly considering the average CPUE values observed for PE/AL. Thus, in this study we adopted as FSA indicators the presence of outliers and far outliers, which were usually much larger than four times the average calculated for each species (França & Olavo, 2015). This may be particularly useful in situations of depletion, when lower densities can make indicators of FSA sites less conspicuous.

The FSA sites identified were located at the outer shelf, near the shelf break, at depths ranging from 50 to 80 meters. Due to the lack of protective measures and in respect of traditional knowledge involved, the names and precise locations of those sites are not revealed. The names, however, revealed a clear association with specific geomorphological features characteristic of the sediment starved carbonatic shelf, such as steps, paleochannels, ravines, and mesophotic reef formations (Olavo et al., 2011; Camargo et al., 2015; da Silveira et al., 2020). The continental shelf border zone extends for a narrow strip along the continental margin (between 40 and 200 m) and is characterized both as an ecotone and faunal corridor, with high species diversity and high fishing productivity (Olavo, Costa & Martins, 2007; Olavo et al., 2011; Eduardo et al., 2018). Mesophotic reef systems located in the border zone of the platform therefore require adequate management strategies in view of their fragility and relevance for the conservation of marine biodiversity and the sustainability of artisanal fishing in Northeast Brazil (Frédou & Ferreira, 2005; Martins, Olavo & Costa, 2005; Olavo, Costa & Martins, 2007; Hinderstein et al., 2010; Rocha et al., 2018; Soares et al., 2019).

The total lengths of the mutton snapper in the two studied regions were mostly above the minimum maturation size that is around 31 cm TL (Teixeira, Duarte & Ferreira, 2010). Dog snapper also presented catches with lengths predominantly greater than the  $L_{50}$ , estimated at approximately 40 cm TL (Freitas et al., 2011). Snappers are known to perform cross-shelf ontogenetic migrations, with juveniles living in coastal environments, such as shallow reefs and mangroves, while adults are found in deeper areas along the shelf (Frédou & Ferreira, 2005; Aschenbrenner, Hackradt & Ferreira, 2016). Therefore, the handline fishery operating over the continental shelf targets adult individuals, including at FSA sites.

Although the distribution pattern of both the fleet and fish population are similar among regions, fish size structure differed significantly between areas. Handline fishing is known to selectively remove larger size fish, thus eroding size structure (Ralston, 1990), so this result may reflect effects of a higher fishing pressure in Pernambuco/Alagoas, as suggested by other studies (Lessa, 2006). Landing records available for the region from 1996 to 2000 reported mutton snapper modal size classes between 40–44 cm and 45–49 cm FL (Rezende, 2008). This reduction to present modal classes at 40–44 cm TL (~36.7–40.6 cm FL) may reflect an erosion in the size structure in Pernambuco/Alagoas region.

The bimodality presented by the dog snapper, in turn, may reflect the ecology of the species. While mutton snapper is not commonly spotted at reef areas, the dog snapper has a clear association with more complex reef formations that occur at certain depths, notably occurring at 35–40 m and 45–50 m isobaths, where reefs were formed during the last regression (Camargo et al., 2015).

Previous work to assess fish stocks has already indicated a situation of overfishing for these resources (Klippel et al., 2005; Frédou, Ferreira & Letourneur, 2009). These species have also been classified as near threatened (mutton snapper) and data deficient (dog snapper) according to IUCN criteria (Lindeman et al., 2016a; Lindeman et al., 2016b) and may have their situation aggravated by fishing in aggregations (Sadovy & Domeier, 2005; Guardia et al., 2018). Many fish spawning aggregations have been extirpated worldwide through overfishing (Chollett et al., 2020). The lower CPUE and smaller sized fish lengths in the Pernambuco/Alagoas region may reflect a critical situation for the spawning aggregations in this region, warning that they are under threat by intense fisheries. This highlights the need for urgent implementation of management and conservation measures for fishing of these resources in the region. Even in situations of severe depletion, the implementation of conservation measures on FSA sites has proven capable of recovering the aggregations, even if they have already been extirpated (Chollett et al., 2020). It is worth noting that the FSA sites identified in PE/AL are located close to a large MPA stretching from estuaries to the outer shelf, but with FSAs lying just outside its boundaries and therefore, not protected by it. A readjustment in the boundaries of the MPA could promote a legal basis for co-management, and thus guarantee more effective protection for the life cycle of the species, safeguarding not only the coastal areas where the juveniles are recruited but also the spawning sites, which are fundamental for sustaining the population and replenishing the stocks.

## 2.5.2 Spawning periods

### 2.5.2.1 Mutton snapper

Histological analysis of mutton snapper gonadal developmental stage distribution showed potentially spawning individuals practically at every month of the year in both areas. However, two periods with higher GSI values are noticeable for both the mutton snapper in Bahia and Pernambuco/Alagoas, one in the summer and a minor peak in the winter; this trend was also seen by Teixeira (2010) for the Northeast of Brazil. Studies developed in Cuba and Florida found the spawning period concentrated only in spring/summer (Claro, 1981; Barbieri et al., 2003; Claro & Lindeman, 2003; Feeley et al., 2018).

This difference observed in the spawning period duration, with spawning occurring throughout the year, when compared to other sites, may also be related to the water temperature patterns of the region. Studies have shown that spawning is positively related to temperature, in addition to correlating with lunar cycles and tides (Heyman et al., 2005; Sale et al., 2010; Colin, 2012). Feeley et al. (2018) observed that fish arrival to the aggregation sites occurred when the water temperature increased from 25 to 30°C. Heyman & Kjerfve (2008) observed a longer spawning period for this species in Belize, from February to September, that was also related to an increase in water temperature in these months from 26.5 to about 30°C, throughout the spawning period. Other Lutjanidae presented similar temperature ranges during the spawning period, such as *Lutjanus cyanopterus*, which was between 26.2 and 30°C in Belize and 26.7 and 28.7°C in the Virgin Islands (Heyman et al., 2005; Biggs & Nemeth, 2016). In the region where spawning activity was documented in the present study, annual temperatures range from 26.4 to 28.7°C in Pernambuco/Alagoas and 25.7 to 28.5°C in Bahia, with values above 26°C from October to July in this state (NOAA, 2018). The relatively high temperature values with a narrow range could contribute to the long spawning period found for mutton snapper in the study area. Overfishing could also be considered a factor contributing to changes in the spawning behavior of a population. Situations of high fishing mortality, especially on reproductive aggregations, may result in the omission of spawning or impairment of pairing between individuals due to the smaller population (Rowe & Hutching, 2003; Jørgensen et al., 2006).

### 2.5.2.2 Dog snapper

The distribution of GSI values for dog snapper presented two main periods. In Bahia, the period of summer was highlighted, with a peak also in June (winter). In Pernambuco/Alagoas, the periods from October to January (spring/summer) and March to May

(autumn) presented the highest values. Previous studies in the Northeastern coast of Brazil have observed the occurrence of mature individuals of the species throughout the year, except for July, with GSI peaks between January and March (Ferreira et al., 2009). In the south of Bahia, Freitas et al. (2011) recorded higher GSI values from June to October (late winter and early spring), with peaks also in February and March (summer). In the present study, GSI peaks were also observed in the summer, with high values in the autumn/winter months. In Belize, Carter & Perrine (1994) recorded a large spawning aggregation of the species during the winter (January) and suggested that the spawning of the species would not be restricted to the summer period or peaks in spring and autumn, as expected for Lutjanidae (Grimes, 1987). On an oceanic island located in northeastern Brazil, Krajewski & Bonaldo (2005) reported dog snapper spawning activity in June (austral winter). Studying the pattern of movement of this species at a site of spawning aggregation in the US Virgin Islands, Biggs & Nemeth (2016) observed individuals making spawning migrations in all months of the year. Spawning capable and/or actively spawning individuals were observed in almost every month in both areas, confirming previous studies that indicate that, although peak activity is evident, spawning may occur throughout the year. However, due to the absence of samples in a few months and to the small number of individuals of this species submitted to histological analysis, these results should be interpreted with caution. A higher number of samples could better evidence the dog snapper spawning time pattern.

### 2.5.3 Spawning sites validation

Eleven fishing sites were validated as mutton snapper spawning places and four for the dog snapper; two sites were identified as multispecies spawning places, used by both studied species. Carter & Perrine (1994) observed a dog snapper spawning aggregation about 200 m from where a large reproductive aggregation of the grouper *Epinephelus striatus* occurred, a place also used for spawning aggregations by *Mycteroperca bonaci* and *Epinephelus guttatus*. Some specific sites, apparently favorable to spawning aggregations, are often shared by several species (Kadison et al., 2006; Claro et al., 2009; Biggs & Nemeth, 2016; Sakaue et al., 2016). Heyman & Kjerfve (2008) registered up to 17 species from six different families using the same FSA site (a reef promontory), with the cubera snapper (*L. cyanopterus*), mutton snapper, and dog snapper being the most abundant, followed by other species of economic importance from the families Epinephelidae and Carangidae. The spawning activity was distributed throughout the year, with species-specific patterns of seasonality and location along the reef promontory. Other reef-associated species, such as groupers, were also recorded during the landings in this

study, although in much smaller numbers, as large grouper species have suffered significant declines in Brazil and elsewhere (Sadovy de Mitcheson et al. 2013; Sadovy de Mitcheson et al., 2020). Considering the multispecies potential of spawning aggregation sites, the protection of these areas could benefit not only the snapper species presented but also other groups that use the same spawning sites (Malinowski et al., 2019; Chollett et al., 2020) The occurrence of multispecies sites in the present study highlights the importance of critical habitats for reef fish spawning aggregations, whose conservation is fundamental to this crucial phenomenon for continuity of the species and ongoing stock renewal (Granados-Dieseldorff, Heyman & Azueta, 2013; Sadovy de Micheson, 2016; Erisman et al., 2017a).

Notably, all aggregation sites identified in this study are included in an area classified by the Convention on Biological Diversity (CBD) as Ecologically or Biologically Significant Marine Areas (EBSA), named Northeastern Brazil Shelf-Edge Zone (Wider Caribbean and Western Mid-Atlantic EBSA Region). The present work validates the inferred occurrence of FSA sites for mutton and dog snappers in this environment, reinforcing the importance of the conservation in this region. In Pernambuco/Alagoas, specifically, those sites are located just outside the borders of a large marine protected area (MPA), the Coral Coast APA, as its boundaries, distributed from coastal regions up to 18 nautical miles from the coast (Brasil, 1997), approach the platform break zone but do not cover this feature (Figure 7). On the north border, a State MPA, the Serrambi Marine APA, was recently created (CPRH, 2018) designed to include the EBSA space (Figure 7). In Bahia, another state MPA, the North Coast Continental Shelf APA also includes the EBSA zone (Decreto estadual n° 8.553 de 5 de junho de 2003). However, neither Serrambi Marine APA nor North Coast Continental Shelf APA have already been implemented. The inclusion of the outer shelf and shelf break zones within the boundaries of multiple use marine protected areas such as the APAs category (SNUC, 2000) could represent a legal basis for the planning of management and conservation strategies for these fishery resources and to the protection of the marine landscape in an integrated manner. Therefore, we suggest the implementation of management strategies that involve the participation of traditional fishing communities, given the importance of these sites for local artisanal fishing, in accordance with the FAO guidelines for small scale fisheries (FAO, 2015). Participatory management arrangements, such as co-management, would be most appropriate, given that in these systems, management of the resource is shared between the State and fishing communities (Sen & Nielsen, 1996).

In the present work, it was possible to verify that individuals captured at some specific sites located in the outer shelf and that presented recurrent higher values of CPUE had also

gonads with signs of imminent or recent spawning, validating the reproductive aspect of the observed aggregations. The temperature pattern in the region and intense fishing activity can be factors of great influence on the duration of the spawning period. Complementary studies with the use of other tools, such as acoustic telemetry or video monitoring, are suggested for better characterization of aggregation dynamics, analyzing behaviors, such as those related to the lunar phase, and thus assisting in both the development and monitoring of effectiveness of management measures.

The comparison of two subregions, subjected to different fishing pressures, showed significant differences in the size structure of fish sampled during landings, suggesting a more pronounced fishing effect in the northern region. For both species, spawning activity was observed in almost every month of the year with GSI peaking in summer, suggesting that seasonal closures could be more effective if combined with spatial measures. The protection of spawning sites, either through seasonal closure or effort management, is one of most important conservation measures, capable of promoting recovery even in situations of severe stock depletion (Chollett et al., 2020). The identification of these spawning aggregations sites on the Northeast coast of Brazil can contribute to the management and conservation of these important fishery resources. As such sites are strategic for conservation and socially and economically important for traditional fishers that retain such knowledge, their exact location was not revealed in this paper, but they remain available for management and conservation purposes. These results were made available to the responsible government agencies to discuss the implementation of the suggested management measures.

## **2.6 Acknowledgements**

The authors thank the Pró-Arribada Project (FUNBIO/IBAMA nº 02001.003030/2001-82) for funding data collection; FACEPE, FAPESB and Projeto Recifes Costeiros for the technical grants to field specialists; CEPENE for logistical and lab support; LIKA for histological preparations; and Petrobras for making the landing data available. The authors are grateful to E. Costa Junior, F. Seara, L. Messias, M. Maida, P. Malafaia, S. Marques, the field agents and all the fishermen involved for their important contribution during project development. We thank FACEPE for a PhD grant to ARF (IBPG-0667-1.08/15) and CNPq for a Research Grant to BPF (502072/2013-0). The authors also thank the two anonymous reviewers and the editor for their relevant comments and suggestion. This is a contribution to the ILTER site 18 (PELD-CNPq 441632/2016-5/PELD-TAMS).

## References

- Aschenbrenner, A., Hackradt, C.W., & Ferreira, B.P. (2016). Spatial variation in density and size structure indicate habitat selection throughout life stages of two Southwestern Atlantic snappers. *Marine Environmental Research*, 113, 49–55.
- Barbieri, L.R., Ault, E. R., Knapp, J. G., McDevitt, E. E. & Thomas, P. E. (2003). Age, growth and reproduction of recreationally important snappers in southeast Florida, Section I, Life History. In: Barbieri, L. R. & Colvocoresses, J. A. Southeast Florida reef fish abundance and biology (pp. 1-61). Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida Marine Research Institute.
- Beets, J. & Friedlander, A. (1998). Evaluation of a conservation strategy: a spawning aggregation closure for red hind, *Epinephelus guttatus*, in the U.S. Virgin Islands. *Environmental Biology of Fishes* 55, 91-98
- Benjamini, Y. (1988). Opening the Box of a Boxplot. *The American Statistician*, 42(4), 257–262.
- Bertoncini, A., Borgonha, M., Bueno, L., Freitas, M., Grecco, F., Machado, L. et al. (2013). Reef Fish Aggregations in Southern Brazil: Pró-Arribada and Meros do Brasil Initiatives. *Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 287-292.
- Biggs, C. R. & Nemeth, R. S. (2016). Spatial and temporal movement patterns of two snapper species at a multi-species spawning aggregation. *Marine Ecology Progress Series*, 558, 129-142.
- Brasil. (1997). Criação da Área de Proteção Ambiental da Costa dos Corais nos Estados de Alagoas e Pernambuco. Brasília: Decreto de 23 de outubro de 1997 s/n.
- Brown-Peterson, N. J., Wyanski, D. M., Saborido-Rey, F., Macewicz, B. J. & Lowerre-Barbieri, S. K. (2011). A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 3, 52-70.
- Bueno, L. S., Bertoncini, A. A., Koenig, C. C., Coleman, F. C., Freitas, M. O., Leite, J. R. et al. (2016). Evidence for Spawning Aggregations of the Endangered Atlantic Goliath Grouper *Epinephelus Itajara* in Southern Brazil. *Journal of Fish Biology*, 89, 876-89.
- Burton, M. L., Brennan K. J., Muñoz, R. C. & Parker Jr, R. O. (2005). Preliminary evidence of increased spawning aggregations of mutton snapper (*Lutjanus analis*) at Riley's Hump two years after establishment of the Tortugas South Ecological Reserve. *Fishery Bulletin* 103(2), 404-10.
- Camargo, J. M. R., Araújo, T. C. M., Ferreira, B. P. & Maida, M. (2015). Topographic features related to recent sea level history in a sediment-starved tropical shelf: Linking the past, present and future. *Regional Studies in Marine Science*, 2, 203-211.
- Carter, J. & Perrine, D. (1994). A spawning aggregation of dog snapper *Lutjanus jocu*(Pisces: Lutjanidae) in Belize, Central America. *Bulletin of Marine Science*, 55, 228-234.

Chollett, I., Priest, M., Fulton, S. & Heyman, W. D. (2020). Should we protect extirpated fish spawning aggregation sites?. *Biological Conservation*, 241, 108395.

Claro, R. (1981). Ecología y ciclo de vida del pargo criollo, *Lutjanus analis* (Cuvier), en la plataforma cubana. *Inf. Cient.-Téc. Acad. Cienc. Cuba*, 186, 1-83.

Claro, R. & Lindeman, K. C. (2003). Spawning aggregation sites of snapper and grouper species (Lutjanidae and Serranidae) on the insular shelf of Cuba. *Gulf and Caribbean Research*, 14(2), 91-106.

Claro, R., Sadovy de Mitcheson, Y., Lindeman, K. C. & García-Cagide, A. R. (2009). Historical analysis of Cuban commercial fishing effort and the effects of management interventions on important reef fishes from 1960–2005. *Fisheries Research*, 99, 7–16.

Colin, P. L., Sadovy, Y. J. & Domeier, M. L. (2003). Manual for the study and conservation of reef fish spawning aggregations. Society for the Conservation of Reef Fish Aggregations Special Publication.

Colin P .L. (2012) Timing and Location of Aggregation and Spawning in Reef Fishes. In: Sadovy de Mitcheson, Y. & Colin, P. (2012). Reef Fish Spawning Aggregations: Biology, Research and Management. Fish and Fisheries Series 35, Heidelberg: Springer, pp. 117-158.

Costa, P. A. S., Olavo, G. & Martins, A. S. (2005). Áreas de pesca e rendimentos da frota de linheiros na região central da costa brasileira entre Salvador-BA e o Cabo de São Tomé-RJ. In: Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Olavo, G. (Eds). Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (pp. 57-70), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.

CPRH, Agência Estadual de Meio Ambiente. (2018). Decreto N° 46052, de 23 de maio de 2018 – Criação da unidade de conservação Área de Proteção Ambiental Marinha Recifes de Serrambi. *Diário Oficial do Estado de Pernambuco*, ano XCV N° 95

Domeier, M. L. & Colin, P. L. (1997). Tropical reef fish spawning aggregations: defined and reviewed. *Bulletin of Marine Science* 60, 698-726.

Domeier, M.L. (2012). Revisiting Spawning Aggregations: Definitions and Challenges. In: Savody de Mitcheson, Y. & Colin, P. L. (Eds), Reef Fish Spawning Aggregations: Biology, Research and Management, Fish and Fisheries Series 35, Heidelberg: Springer, pp. 1-20.

Eduardo, L. N., Frédou, T., Lira, A. S., Ferreira, B. P., Bertrand, A., Ménard, F. et al. (2018). Identifying key habitat and spatial patterns of fish biodiversity in the tropical Brazilian continental shelf. *Continental Shelf Research*, 166, 108–118.

Erisman, B., Heyman, W., Kobara, S., Ezer, T., Pittman, S., Aburto- Oropeza, O., & Nemeth, R. S. (2017). Fish spawning aggregations: Where well- placed management actions can yield big benefits for fisheries and conservation. *Fish and Fisheries*, 18, 128–144.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2015). Voluntary Guidelines for Securing Sustainable Small-Scale Fisheries in the Context of Food Security and Poverty Eradication. Rome: FAO.

Farmer, N. A., Heyman, W. D., Karnauskas, M., Kobara, S., Smart, T. I., Ballenger, J. et al. (2017). Timing and locations of reef fish spawning off the southeastern United States. PLoS ONE, 12, e0172968

Feeley, M. W., Morley, D., Acosta, A., Barbera, P., Hunt, J., Switzer, T. et al. (2018). Spawning Migration Movements of Mutton Snapper in Tortugas, Florida: Spatial Dynamics within a Marine Reserve Network. Fisheries Research, 204, 209-23.

Ferreira, B. P. (1993). Reproduction of the inshore coral trout *Plectropomus maculatus* (Perciformes: Serranidae) from the Central Great Barrier Reef, Australia. Journal of Fish Biology, 42, 831-844.

Ferreira B. P., Rezende, S. M., Texeira, S. F. & Frédou, T. (2009). *Lutjanus jocu*. In: Lessa, R. R., Nóbrega, M. F., & Bezerra Junior, J. L. Dinâmica de populações e avaliação de estoques dos recursos pesqueiros da Região Nordeste, Programa REVIZEE Score Nordeste vol. 5 (pp. 102-113), Fortaleza: Editora Martins & Cordeiro.

Ferreira, B. P., Maida, M., Olavo, G., Strenzel, G. R., França, A. R., Malafaia, P. N., et al. (2018) Marine geomorphology of cubbera snapper spawning aggregation sites in the SW Atlantic. In: Schroeder, D. M., Dunkel, C. A. & Cochrane, G. R. (Eds) Marine Geological and Biological Habitat Mapping Conference – GEOHAB Abstracts (pp. 41), Santa Barbara, USA.

Ferreira, H. M., Reuss-Strenzel, G. M., Alves, J. A. & Schiavetti, A. (2014). Local ecological knowledge of the artisanal fishers on *Epinephelus itajara* (Lichtenstein, 1822) (Teleostei: Epinephelidae) on Ilhéus coast – Bahia State, Brazil. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 10, 51.

França, A. R. & Olavo, G. (2015). Indirect signals of spawning aggregations of three commercial reef fish species on the continental shelf of Bahia, east coast of Brazil. Brazilian Journal of Oceanography, 63, 289-302.

Frédou, T. & Ferreira, B. P. (2005). Bathymetric Trends of Northern Brazilian Snappers (Pisces, Lutjanidae): implications for the reef fishery dynamic. Brazilian Archives of Biology and Technology, 48, 787-800.

Frédou T., Ferreira, B. P. & Letourneur, Y. (2006). A univariate and multivariate study of reef fisheries off northeastern, Brazil. ICES Journal of Marine Science, 63, 883-896.

Frédou T., Ferreira, B. P. & Letourneur, Y. (2009). Assessing the stocks of the primary snappers caught in Northeastern Brazilian Reef Systems. 2-A multi-fleet age-structured approach. Fisheries Research, 99 (2), 97-105

Freitas, M. O., Moura, R. L., Francini-Filho, R. B. & Minte-Vera, C. V. (2011). Spawning patterns of commercially important reef fish (Lutjanidae and Serranidae) in the tropical western South Atlantic. Scientia Marina 75, 135-146.

- Freitas, M. O., Previero, M., Minte-Vera, C. V., Spach, H. L., Francini-Filho, R. B. & Moura, R. L. (2018). Reproductive biology and management of two commercially important groupers in the SW Atlantic. *Environmental Biology of Fishes*, 101, 79-94.
- Ganias, K., Nunes, C. & Stratoudakis, Y. (2007). Degeneration of postovulatory follicles in the Iberian Sardine pilchardus: structural changes and factors affecting resorption. *Fishery Bulletin*, 105, 131-139.
- Gerhardinger, L. C., Bertoincini, A. & Hostim-silva, M. (2006). Local ecological knowledge and Goliath grouper spawning aggregations in the South Atlantic Ocean: Goliath grouper spawning aggregations in Brazil. *SPC Traditional Marine Resource Management and Knowledge Information Bulletin*, 20, 33-34.
- Granados-Dieseldorff, P., Heyman, W. D. & Azueta, J. (2013). History and co-management of the artisanal mutton snapper (*Lutjanus analis*) spawning aggregation fishery at Gladden Spit, Belize, 1950–2011. *Fisheries Research*, 147, 213-221.
- Grimes, C. B. (1987). Reproductive biology of the Lutjanidae: a review. Pages 239-294 In Polovina, J. J. & Ralston, S. (Eds), *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*. USA: Westview Press.
- Granados-Dieseldorff, P., Heyman, W. D. & Azueta, J. (2013). History and co-management of the artisanal mutton snapper (*Lutjanus analis*) spawning aggregation fishery at Gladden Spit, Belize, 1950-2011. *Fisheries Research*, 147, 213–221.
- Grüss, A., Biggs, C., Heyman, W. D. & Erisman B. (2018). Prioritizing monitoring and conservation efforts for fish spawning aggregations in the U. S. Gulf of Mexico. *Scientific Reports* 8, 8473.
- Guardia, E. D. L., Giménez-Hurtado, E., Defeo, O., Angulo-Valdes, J., Hernández-González, Z., Espinosa-Pantoja, L. et al. (2018). Indicators of overfishing of snapper (Lutjanidae) populations on the southwest shelf of Cuba. *Ocean and Coastal Management*, 153, 116-123.
- Heyman, W. D., Kjerfve, B., Graham, R. T., Rhodes, K. L. & Garbutt, L. (2005). Spawning aggregations of *Lutjanus cyanopterus* (Cuvier) on the Belize Barrier Reef over a 6 year period. *Journal of Fish Biology*, 67, 83-101.
- Heyman, W. D. & Kjerfve, B. (2008). Characterization of transient multi-species reef fish spawning aggregations at Gladden Spit, Belize. *Bulletin of Marine Science*, 83, 531-551.
- Heyman, W. D., Grüss, A., Biggs, C. R., Kobara, S., Farmer, N. A., Karnauskas, M., et al. (2019). Cooperative monitoring, assessment, and management of fish spawning aggregations and associated fisheries in the U.S. Gulf of Mexico. *Marine Policy*, 109 (April), 103689.
- Hinderstein, L. M., Marr, J. C. A., Martinez, F. A., Dowgiallo, M. J., Puglise, K. A., Pyle, R. L., et al. (2010). Theme section on “Mesophotic Coral Ecosystems: Characterization, Ecology, and Management”. *Coral Reefs*, 29, 247-251.

- Jackson, M. W., Nieland, D. L. & Coawan, J. H. (2006). Diel spawning periodicity of red snapper *Lutjanus campechanus* in the northern Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology*, 68, 695-706.
- Jørgensen, C., Ernande, B., Fiksen, Ø. & Dieckmann, U. (2006). The logic of skipped spawning in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63, 200-211.
- Kadison, E., Nemeth, R. S., Herzlied, S. & Blondeau, J. (2006). Temporal and spatial dynamics of *Lutjanus cyanopterus* (Pisces: Lutjanidae) and *Lutjanus jocu* spawning aggregations in the United States Virgin Islands. *Revista de Biología Tropical*, 54, 69-78.
- Klippel, S., Olavo, G., Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Peres, M. B. (2005). Avaliação dos estoques de lutjanídeos da Costa Central do Brasil: análise de coortes e modelo preditivo de Thompson e Bell para comprimentos. In: Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Olavo, G. (Eds). Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (pp. 83-98), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.
- Krajewski, J. P. & Bonaldo, R. M. (2005). Spawning out of aggregations: record of a single spawning dog snapper pair at Fernando de Noronha archipelago, equatorial western Atlantic. *Bulletin of Marine Science*, 77, 165-167.
- Kobara S. & Heyman W. D. (2010). Sea bottom geomorphology of multi-species spawning aggregation sites in Belize. *Marine Ecology Progress Series*, 405, 243-254
- Kobara S., Heyman W. D., Pittman S. J. & Nemeth R. S. (2013) Biogeography of transient reef-fish spawning aggregations in the Caribbean: a synthesis for future research and management. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 51, 281-326
- Lessa, R.P. (2006). Recursos Pesqueiros da Região Nordeste. In: Ministério do Meio Ambiente (Ed). Programa REVIZEE: avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva - Relatório Executivo (pp. 152-180), Brasília, Brasil.
- Lessa, R. P., Bezerra, J. L. & Nobrega, M. F. (2009). Dinâmica das frotas pesqueiras da região Nordeste do Brasil. Fortaleza: Editora Martins & Cordeiro.
- Lindeman, K., Anderson, W., Carpenter, K. E., Claro, R., Cowan, J., Padovani-Ferreira, B., et al. (2016a). *Lutjanus analis*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- Lindeman, K., Anderson, W., Carpenter, K. E., Claro, R., Cowan, J., Padovani-Ferreira B., et al. (2016b). *Lutjanus jocu*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- Malinowski, C.; Coleman, F.; Koenig, C.; Locascio, J.; Murie, D. (2019) Are Atlantic goliath grouper, *Epinephelus itajara*, establishing more northerly spawning sites? Evidence from the northeast Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 95(3), 371-391(21)
- Martins, A. S., Olavo, G. & Costa, P. A. S. (2005). Recursos demersais capturados com espinhel de fundo no talude superior da região entre Salvador (BA) e o Cabo de São Tomé (RJ). In: Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Olavo, G. (Eds). Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (pp. 109-128), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.

Martins, A. S., Costa, P. A. S., Olavo, G. & Haimovici, M. (2006). Recursos Pesqueiros da Região Central. In Ministério do Meio Ambiente (Ed). Programa REVIZEE: avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva - Relatório Executivo (pp. 181-206), Brasília, Brasil.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2018). HadISST Average Sea Surface Temperature, 1°, Global, Monthly, 1870-present. Met Office Hadley Centre. U.S. NOAA NMFS SWFSC Environmental Research Division.

Olavo, G., Costa, P. A. S. & Martins, A. S. (2005). Caracterização da pesca de Linha e dinâmica das frotas linheiras da Bahia, Brasil. In Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Olavo, G. (Eds). Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (pp. 13-34), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.

Olavo, G., Costa, P. A. S. & Martins, A. S. (2007). Estrutura de comunidades de peixes recifais na plataforma externa e talude superior da costa central brasileira: diversidade e distribuição batimétrica. In: Costa, P. A. S., Olavo, G. & Martins, A. S. (Eds), Biodiversidade da Fauna Marinha Profunda na Costa Central Brasileira (pp. 15-43), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n.24.

Olavo, G., Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Ferreira, B. P. (2011). Shelf-edge reefs as priority areas for conservation of reef fish diversity in the tropical Atlantic. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21, 199-209.

Ralston, S. (1990). Size selection of snappers (Lutjanidae) by hook and line gear. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47, 696-700.

Rezende, S. M. (2008). Evolução das capturas, idade, crescimento e recrutamento de espécies de Lutjanidae do Nordeste do Brasil (PhD thesis). Universidade Federal de Pernambuco, Brazil.

Rocha, L. A., Pinheiro, H. T., Shepherd, B., Papastamatiou, Y. P., Luiz, O. J., Pyle, R. L. et al. (2018). Mesophotic coral ecosystems are threatened and ecologically distinct from shallow water reefs. *Science*, 361(6399), 281–284

Rowe, S. & Hutchings, J. A. (2003). Mating systems and the conservation of commercially exploited marine fish. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 567–572.

Sadovy, Y. & Domeier, M. (2005). Are aggregation-fisheries sustainable? Reef fish fisheries as a case study. *Coral Reefs*, 24, 254–262.

Sadovy de Mitcheson, Y. & Colin, P. (2012). Reef Fish Spawning Aggregations: Biology, Research and Management. Fish and Fisheries Series 35, Heidelberg: Springer.

Sadovy de Mitcheson, Y., Craig, M. T., Bertocini, A. A., Carpenter, K. E., Cheung, W. W. L., Choat, J. H., et al. (2013). Fishing groupers towards extinction: A global assessment of threats and extinction risks in a billion dollar fishery. *Fish and Fisheries*, 14(2), 119–136.

Sadovy de Mitcheson, Y. (2016). Mainstreaming fish spawning aggregations into fishery management calls for a precautionary approach. *BioScience*, 66, 295-306.

Sadovy de Mitcheson, Y. J., Linardich, C., Barreiros, J. P., Ralph, G. M., Aguilar-perera, A., Afonso, P., et al. (2020). Valuable but vulnerable: Over-fishing and under-management continue to threaten groupers so what now? *Marine Policy*, 116(103909).

Sakaue, J., Akino, H., Endo, M., Ida, H. & Asahida, T. (2016). Temporal and spatial site sharing during spawning in snappers *Symphoricichthys spilurus* and *Lutjanus bohar* (Pisces: Perciformes: Lutjanidae) in waters around Peleliu Island, Palau. *Zoological Studies*, 55, 44.

SCDB - Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014). Ecologically or Biologically Significant Marine Areas (EBSAs): Special places in the world's oceans. Volume 2: Wider Caribbean and Western Mid-Atlantic Region. 86 p.

Sale, P. F., Van Lavieren, H., Ablan Lagman, M. C., Atema, J., Butler, M., Fauvelot, C., et al. (2010). Preserving Reef Connectivity: A Handbook for Marine Protected Area Managers. Connectivity Working Group, Coral Reef Targeted Research and Capacity Building for Management Program. United Nations University Institute for Water, Environment and Health.

Sen, S. & Nielsen, J. R. (1996). Fisheries co-management: a comparative analysis. *Marine Policy*, 5, 405–418.

da Silveira, C. B. L., Reuss Strenzel, G. M., Maida, M. & Ferreira, B. P. (2020) Pushing satellite imagery to new depths: Seascape feature mapping in a tropical shelf. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 19(2020) 100345

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação. (2000). Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 - institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

Soares, M. O., Tavares, T. C. L. & Carneiro, P. B. M. (2019). Mesophotic ecosystems: distribution, impacts and conservation in the South Atlantic. *Diversity and Distributions*, 25, 255–268.

Teixeira, S. F., Duarte, Y. F., & Ferreira, B. P. (2010). Reproductive Biology of Mutton Snapper *Lutjanus analis* (Perciformes: Lutjanidae) from Northeastern Brazil. *Revista de Biologia Tropical*, 58, 1-10.

Vacchi, M., Psomadakis, P. N., Repetto, N. & Würtz M. (2010). First Record of the Dog Snapper *Lutjanus jocu* in the Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology*, 76, 723-28.

### 3 ARTIGO 2 - ESTRUTURA POPULACIONAL DE *Lutjanus jocu* NO ATLÂNTICO SUDOESTE: IDENTIFICAÇÃO DE ESTOQUES OCEÂNICOS E COSTEIROS A PARTIR DE MARCADORES GEOQUÍMICOS EM OTÓLITOS

*Population structure of Lutjanus jocu in the Southwest Atlantic Ocean: identification of coastal and oceanic stocks using geochemical markers in otoliths*

**França, Aline Rocha<sup>1</sup>; Rooker, Jay<sup>2</sup>; Buchianeri, Thiago<sup>3</sup>; Ferreira, Beatrice Padovani<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

<sup>2</sup>Department of Marine Biology, Texas A&M University, Galveston, Texas, USA.

<sup>3</sup>Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil.

#### 3.1 Resumo

O *Lutjanus jocu* (dentão/*dog snapper*) é uma espécie de peixe recifal que se destaca entre os vermelhos (*snappers*) de águas rasas do Atlântico Sul pela presença de população estabelecida não só ao longo da plataforma continental, mas também em montes submarinos e ilhas oceânicas. O presente estudo teve como objetivo investigar padrões de recrutamento e estrutura de estoques para *L. jocu* em um gradiente latitudinal da plataforma continental e em regiões oceânicas, a partir da determinação da geoquímica de otólitos. Seis sítios foram considerados como área de estudo, três oceânicos (Banco Grande, Bancos Leste-Sueste e Fernando de Noronha) e três costeiros (Fortaleza, Natal e São José da Coroa Grande). Otólitos de exemplares provenientes destes sítios foram analisados quanto à composição de elementos traço (Li, Mg, Mn, Co, Sr, Ba) no núcleo (primeiro ano) e na borda através do *Laser Ablation Inductively Coupled Mass Spectrometer* (LA-ICP-MS). Isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  foram também quantificados para o primeiro ano. Os dados foram analisados tanto para todas as amostras como para apenas exemplares de idades semelhantes. A composição química dos otólitos apresentou diferentes assinaturas entre cada sítio costeiro analisado e a região oceânica. Resultados mostraram diferença significativa no  $\delta^{18}\text{O}$  quando comparadas amostras oceânicas e costeiras. A análise quadrática discriminante entre os sítios costeiros e a região oceânica apresentou classificação com acurácia de 52 a 59% em análise independente da idade, 65% a 78% quando considerados exemplares com idades semelhantes e 77 a 84% para a borda do otólito. Padrões de correntes na região (Corrente Sul Equatorial e Corrente do Brasil), associado

a características específicas dos sítios costeiros podem estar associados à diferenciação encontrada na assinatura química entre os sítios analisados.

Palavras-chave: dentão, microquímica, elementos traço, isótopos estáveis, estoques pesqueiros

### 3.2 Introdução

O *Lutjanus jocu* (dentão/*dog snapper*) é uma espécie recifal que se caracteriza como importante alvo da pesca artesanal em toda a sua área de ocorrência (Lindeman et al., 2016). Este peixe apresenta crescimento lento, moderada a alta longevidade e se destaca entre os vermelhos (*snappers*) de águas rasas do Atlântico Sul pela presença de população estabelecida não só ao longo das plataformas continentais, mas também em montes submarinos e ilhas oceânicas (Floeter et al., 2003; Rezende & Ferreira, 2004). Esta espécie, classificada como predador de topo, pode atingir até 110cm de comprimento total e encontra-se distribuído de Massachusetts (Estados Unidos) até o sudeste do Brasil, com registros de ocorrência também no Mediterrâneo (Lindeman et al., 2016; Vacchi et al., 2010). São conhecidos por apresentar migração ontogenética *cross shelf*, com juvenis recrutando em ambientes costeiros (estuários, pradarias de fanerógamas e recifes rasos), enquanto os adultos habitam regiões mais profundas, até a quebra da plataforma continental (Frédou & Ferreira, 2005; Moura et al., 2011; Aschenbrenner et al., 2016). Estudos de genética da espécie apontam para a existência de uma população única ao longo da plataforma continental do Nordeste brasileiro, no entanto características das populações oceânicas e sua estrutura de estoques é ainda desconhecida (Souza et al., 2019).

Os otólitos, estruturas cristalinas presentes no ouvido interno dos peixes, apresentam características físico-químicas específicas que têm sido utilizadas por diversos estudos de ecologia populacional para investigação de padrões de conectividade e discriminação de estoques (Thorrold et al., 1997; Campana, 1999; Green et al 2009; Heidemann et al., 2012; Kitchens et al., 2018). Presentes em número de três pares em cada indivíduo (*sagittae*, *lapilli* e *asterisci*), os otólitos são compostos por cristais de carbonato de cálcio depositados em uma matriz proteica, em um processo contínuo que dura toda a vida do peixe (Green, 2009). No decorrer da sua deposição, elementos químicos presente nos ambientes utilizados pelo peixe ao longo do seu ciclo de vida são também incorporados. Por serem metabolicamente inertes, os otólitos conferem assim uma assinatura química que pode ser utilizada para traçar toda a história ambiental do animal.

Apesar da sua relevância pesqueira e de já apresentar indícios de sobrepesca (Klippel et al., 2005; Frédou, Ferreira & Letourmeur, 2009), medidas de manejo e conservação são ausentes para a espécie no Atlântico Sudoeste. Conhecer a estrutura populacional e o padrão de estoques de espécies de importância pesqueira é fundamental para a elaboração de propostas de manejo que sejam adequadas e eficazes. Frente a isso, o presente estudo teve como objetivo investigar padrões de recrutamento e estrutura de estoques para o *L. jocu* em um gradiente latitudinal da plataforma continental e em regiões oceânicas, a partir da determinação da geoquímica de otólitos, a fim de contribuir para a gestão pesqueira e conservação da espécie.

### 3.3 Material e Métodos

#### 3.3.1 Área de estudo

Para identificar padrões de recrutamento e estrutura de estoques do *Lutjanus jocu* em regiões costeiras e oceânicas foram consideradas seis unidades amostrais no presente estudo, três costeiras (São José da Coroa Grande, Natal e Fortaleza) e três oceânicas (Banco Grande, Bancos Leste & Sueste e Fernando de Noronha) (Figura 1).

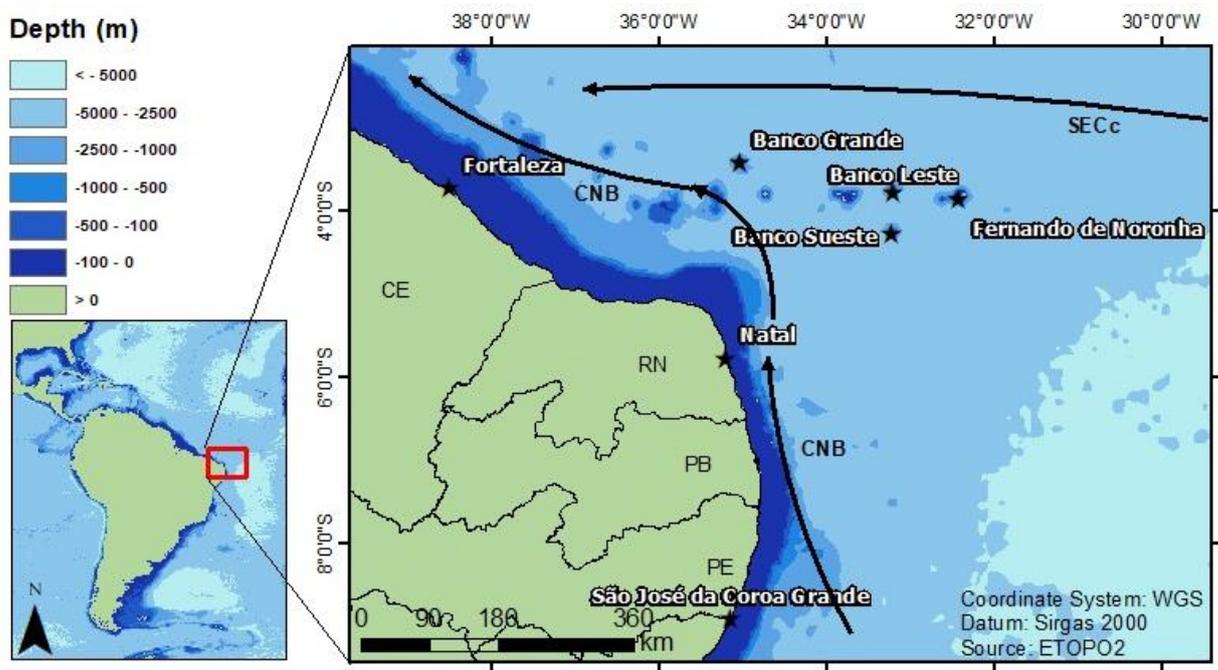


Figure 1. Área de estudo no Atlântico Sudoeste

Fortaleza, Natal e São José estão localizadas na região Nordeste do Brasil. Esta região é caracterizada por apresentar uma plataforma continental predominantemente estreita e intensamente utilizada por frota da pesca artesanal para captura de recursos demersais e

pelágicos, dentre os quais se destacam os vermelhos (Frédou et al. 2006; Lessa, 2006; Martins et al., 2006). Fernando de Noronha, por sua vez, está localizado a 350 km da costa e constitui um arquipélago oceânico formado por uma ilha principal e 20 pequenas ilhas ao redor, totalizando uma área de 26 km<sup>2</sup>, onde a espécie *L. jocu* é explorada pela pesca artesanal local. Entre a ilha e a plataforma continental são encontrados montes submarinhos, cujo topo pode alcançar 53-58 m de profundidade (Leste e Sueste), onde o *L. jocu* ocorre e também é alvo da pesca. A ilha e os montes submarinos são cercados por profundidades em torno de 4000m (Almeida, 2006; IBGE, 2011).

A região continental é banhada principalmente pela Corrente Norte do Brasil (CNB), originada na bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (SECs) na camada superficial, por volta de 12°S (Stramma & Schott, 1999; da Silveira et al., 1994). Esta bifurcação apresenta variação sazonal relacionada a mudanças anuais dos ventos alísios e, por conseguinte, da Zona de Convergência Intertropical, atingindo menores latitudes no verão austral e maiores no inverno (da Silveira et al., 1994). Mais ao Norte, por volta de ~5°S, o ramo central da Corrente Sul Equatorial (SECc) se une à CNB. Nas camadas superficiais (~150m), tanto a CNB quanto da Corrente Sul Equatorial tem características de Água Tropical Equatorial com alta salinidade (aproximadamente 36 ups) e temperaturas que variam entre 26 e 30 °C (da Silveira et al., 1994; Stramma & Schott, 1999; Macedo et al. 2009). Apesar de ter características semelhantes, fatores locais influenciam nas taxas de silicato, salinidade e de oxigênio dissolvido entre as áreas estudadas (Macedo et al. 2009).

### 3.3.2 Coleta e preparação das amostras

As amostras foram coletadas a partir de desembarques da pesca artesanal de linha de mão desenvolvida por pescadores colaboradores da pesquisa nos sítios investigados, entre fevereiro/2017 e fevereiro/2018. No momento do desembarque os peixes foram identificados por pesquisador experiente, medidos (comprimento total e comprimento furcal ao centímetro inferior), pesados (peso eviscerado em quilogramas) e tiveram os otólitos sagittae retirados. Após a retirada os otólitos foram limpos e acondicionados a seco para posterior análise. Uma vez que foram obtidas amostras de uma ampla faixa de tamanhos, o comprimento zoológico/furcal (FL) de 40 a 60 cm foi selecionado de modo a restringir a variação de idade das amostras para análise química (Tabela 1).

Tabela 1. Sumário das amostras *Lutjanus jocu* coletadas de fev/2017 a fev/2018 em águas oceânicas e costeiras no Nordeste do Brasil.

Site	Area	Number of individuals	FL range (cm)	Number of individuals chemically analyzed (FL 40 to 60cm)
Fortaleza	coastal	45	34.5-85.2	24
Natal	coastal	34	38.2-77.2	20
São José	coastal	55	34-80	20
Banco Grande seamount	oceanic	47	45-80	21
Leste & Sueste seamounts	oceanic	26	40.4-77.3	10
Fernando de Noronha	oceanic	122	37.9-86.9	45
Total		329	34.5-86.9	140

Em laboratório, os otólitos foram emblocados em resina Epoxy e cortados em serra metalográfica Isomet para obtenção de uma secção transversal contendo o núcleo com pelo menos 1mm de espessura, a fim de possibilitar a análise de elementos traço e isótopos estáveis na mesma amostra. Em seguida os otólitos foram polidos, colados em lâmina de vidro com Crystal bond, tiveram as suas idades verificadas por dois leitores independentes e então foram analisados quimicamente. Cada otólito foi submetido à análise de elementos traço e de isótopos estáveis.

### 3.3.3 Análise de elementos traço

As concentrações elementares foram quantificadas usando o sistema laser (*laser ablation*) Elemental Scientific NWR193UC (193nm de comprimento de onda, < 4ns de amplitude de pulso) acoplado a um *Agilent 7500ce inductively coupled mass spectrometer* (LA-ICP-MS) na Universidade do Texas, em Austin. Antes da análise, amostras e padrões passaram por pré-ablação para remover a contaminação potencial da superfície. As análises a laser foram intercaladas de hora em hora por medições padrão (MACS-3 e NIST 612, normalmente medidas em triplicata para 60-s). As densidades de energia do laser sobre as sessões analíticas foram em média de  $3,07 \pm 0,08$  J cm<sup>-2</sup> para o trajeto de linha. O período de amostragem de 0,4152s corresponde a 94% de tempo de medição quadripolar. O período de amostragem das varreduras em linha corresponde a 5µm/s, medidas a cada 2,08µm. As intensidades de resolução temporal foram convertidas para equivalentes de concentração (ppm) usando o software Iolite (Univ. Melbourne, Hellstrom et al., 2008), com <sup>43</sup>Ca como padrão interno e um valor de índice de Ca de 38,3% do peso. As linhas de base foram determinadas a partir de intervalos de 30-s de “*gas blank*” medidos enquanto o laser estava desligado e todas as massas foram escaneadas pelo

quadrupolo. O USGS MACS-3 foi usado como padrão de referência primário e a precisão e acurácia foram obtidas a partir de réplicas do NIST 612.

A ablação foi conduzida como linhas transversais que vão do núcleo ao limite aproximado do primeiro anel, na direção do sulco do otólito, no lado dorsal (padronizado como 500 $\mu\text{m}$  de comprimento), para capturar a assinatura química do berçário utilizado pelo indivíduo. Outra linha foi feita na borda do otólito, posicionada paralela à borda, com o mesmo tamanho (500 $\mu\text{m}$  comprimento), a fim de obter a assinatura química registrada nos otólitos dos peixes referente a cada local amostrado (Figura 2). Em ambos os casos, núcleo e borda, o ponto (*spot*) do laser utilizado apresentou diâmetro de 25 $\mu\text{m}$ .

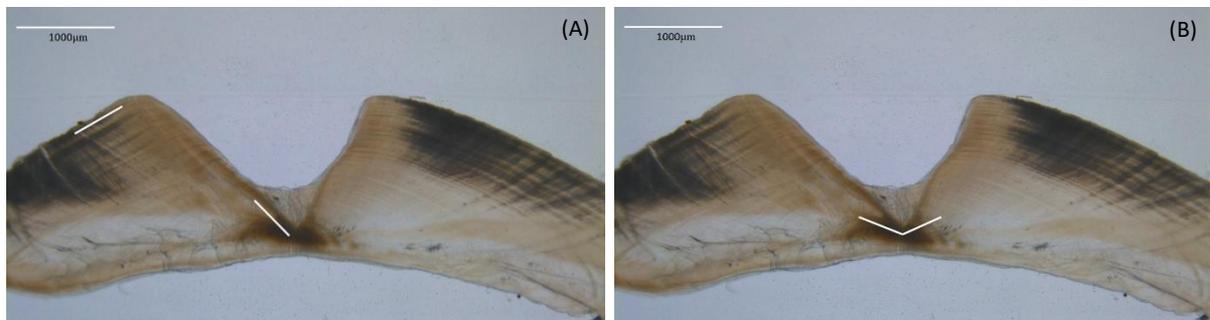


Figura 02. Secção transversal de otólito do *Lutjanus jocu* mostrando (A) localização aproximada das linhas de ablação a laser para leitura dos elementos traço (região do núcleo e na borda) e (B) o sentido da perfuração pelo MicroMill para análise de isótopos estáveis. Todo material a uma distância de 150 $\mu\text{m}$  de cada lado da linha do MicroMill (B) foi coletado, tendo em vista o diâmetro da ponta da broca.

Foram analisados seis elementos (Li, Mg, Mn, Co, Sr, Ba). A concentração de elementos traços (ppm) foi convertida em razão elemento:Ca ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) usando a massa molar de cada elemento (M, g  $\text{mol}^{-1}$ ) padronizada para concentrações de  $^{44}\text{Ca}$ .

### 3.3.4 Análise de isótopos estáveis

Para análise de isótopos estáveis, foi utilizado um Sistema *New Wave MicroMill* de alta resolução, que consiste em um microscópio e um sistema de imagem controlado por software de computador. Após o término da análise de elementos-traço, cada otólito foi polido levemente, apenas o suficiente para eliminar as linhas de ablação, de modo que ambas as análises químicas (elementos-traço e isótopos estáveis) foram conduzidas no mesmo otólito (Kitchens et al., 2018). Um caminho de perfuração cobrindo uma área correspondente ao primeiro ano de vida foi desenvolvido sobre o otólito, a fim de se obter a assinatura do berçário

utilizado pelo peixe. Os otólitos foram perfurados a uma profundidade de 750 $\mu\text{m}$  (15 passagens, 50 $\mu\text{m}$  profundidade), usando uma broca de carboneto de 300 $\mu\text{m}$  de diâmetro (Figura 2). O material do otólito em pó foi coletado em um papel de gramatura, colocado em tubos de ensaio e enviado para análise isotópica no *Environmental Isotope Laboratory at the University of Arizona*. Foram quantificados  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  dos otólitos usando um dispositivo automático de preparação de carbonato (KIEL-III, *Thermo Fisher Scientific*, Waltham, MA, EUA) acoplado a um espectrômetro de massa de razão isotópica (Finnigan MAT 252, *Thermo Fisher Scientific*). Os valores dos isótopos foram reportados de acordo com os padrões da Agência Internacional de Energia Atômica em Viena (*Vienna Pee Dee Belemnite*, VPDB).

### 3.3.5 Análise de dados

Cada secção dos otólitos foi analisada por dois leitores independentes para determinação da idade. No total 140 otólitos foram analisados quimicamente, cujas idades variaram de 4 a 22 anos. Para verificar se a química dos otólitos do *L. jocu* no primeiro ano variava entre os seis locais estudados, foi utilizada uma análise multivariada de variância (MANOVA) para testar diferenças nos elementos traços e isótopos estáveis entre as regiões. A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para analisar individualmente isótopos estáveis e elementos traço (nível de confiança de 95%). O teste a posteriori de *Tukey* foi usado para detectar diferenças significativas entre as médias.

Para testar a existência de discriminação na assinatura microquímica entre os locais estudados, utilizou-se a *Quadratic Discriminant Function Analysis* (QDFA). Para estimar o sucesso da reclassificação para a área onde o peixe foi capturado utilizou-se *Jackknifed cross-validation classification accuracie*. A Análise Canônica Discriminante (CDA) foi realizada para verificar a participação de cada elemento na assinatura química das áreas. As análises estatísticas foram realizadas no MYSTAT (SYSTAT) e no software JMP.

## 3.4 Resultados

Seis elementos traços (Li, Mg, Mn, Co, Sr, Ba) e dois isótopos estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) foram analisados em 140 otólitos de *L. jocu* coletados em 6 áreas diferentes no Atlântico Sudeste (3 costeiras e 3 oceânicas). Como houve uma variação nas idades (Tabela 2), os resultados são apresentados para todas as amostras e para uma subamostra com idades semelhantes (6-7 anos) (n=60).

### 3.4.1 Isótopos estáveis

Foi observada uma diferença significativa nos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre o núcleo de amostras coletadas na área oceânica e na região costeira, presente tanto considerando todas as amostras (ANOVA  $p = 0,038$ ) (Figura 3) ou apenas aquelas que tinham idades semelhantes (6-7 anos) (ANOVA  $p = 0,022$ ). O  $\delta^{13}\text{C}$ , por sua vez, não diferiu significativamente entre as áreas (ANOVA  $p > 0,05$ ) (Figura 3).

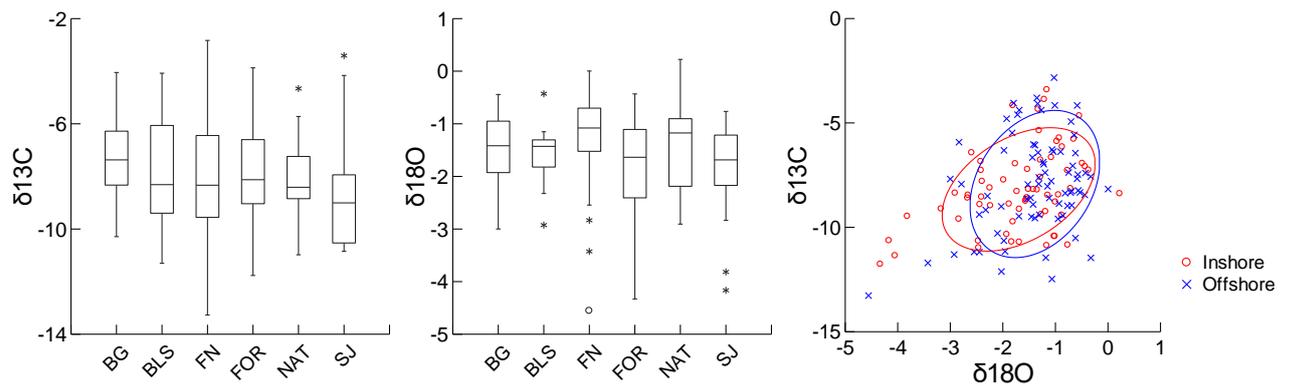


Figura 3. Boxplot com os valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , e  $\delta^{18}\text{O}$  medidos em otólitos de *Lutjanus jocu* de cada sítio amostrado, e scatterplot com pontos individuais e elipses de confiança (1SD) comparando as amostras capturadas em regiões costeiras e oceânicas ( $n=140$ ). Boxplots: caixa representa primeiro e terceiro quartis da distribuição (25% e 75%); linha interna representa a mediana; linhas verticais adjacentes mostram a continuidade da distribuição; asteriscos representam *outliers* e círculos *far outliers* (valores distribuídos acima de 1,5 e 3,0 vezes a distância interquartil respectivamente).

### 3.4.2 Elementos Traço

A assinatura química elementar do núcleo dos otólitos apresentou diferença significativa entre os locais estudados (MANOVA  $p < 0,05$ ). Dentre os diferentes sítios, São José foi responsável por concentrações de Ba:Ca, Li:Ca e Mn:Ca que se destacaram dos demais (ANOVA Mn:Ca,  $p=0,004$ ) (Figura 4). Natal também se destacou por representar as maiores médias de Co:Ca, significativamente diferente de outros sítios (ANOVA  $p=0,006$ ).

Tabela 2. Síntese dos valores dos elementos traços registrados no núcleo dos otólitos de *L. jocu* nos sítios estudados (n=140). Banco Grande (BG), Bancos Leste & Sueste (BLS), Fernando de Noronha (FN), Fortaleza (FOR), Natal (NAT) e São José (SJ).

Site	Li:Ca		Mg:Ca		Mn:Ca		Co:Ca		Sr:Ca		Ba:Ca		Age	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Range	Median
BG	4,24	2,15	77,86	25,65	0,89	0,82	0,124	0,031	2.633,3	310,4	5,09	2,73	5 to 17	8
BLS	3,09	1,96	60,26	18,34	0,76	0,35	0,129	0,059	2.789,0	254,7	33,58	56,58	6 to 22	14,5
FN	4,43	1,63	71,16	20,98	0,85	0,62	0,095	0,029	2.640,9	294,7	13,71	24,40	4 to 22	7
FOR	3,79	2,22	86,75	22,76	1,06	0,63	0,113	0,028	2.565,3	211,6	20,36	69,85	5 to 20	8
NAT	4,24	1,62	80,67	20,67	0,91	0,46	0,157	0,050	2.639,5	237,6	7,94	11,89	5 to 19	6,5
SJ	4,64	3,05	72,56	19,80	1,402	1,28	0,104	0,045	2.651,1	228,7	26,94	40,54	4 to 9	6,5

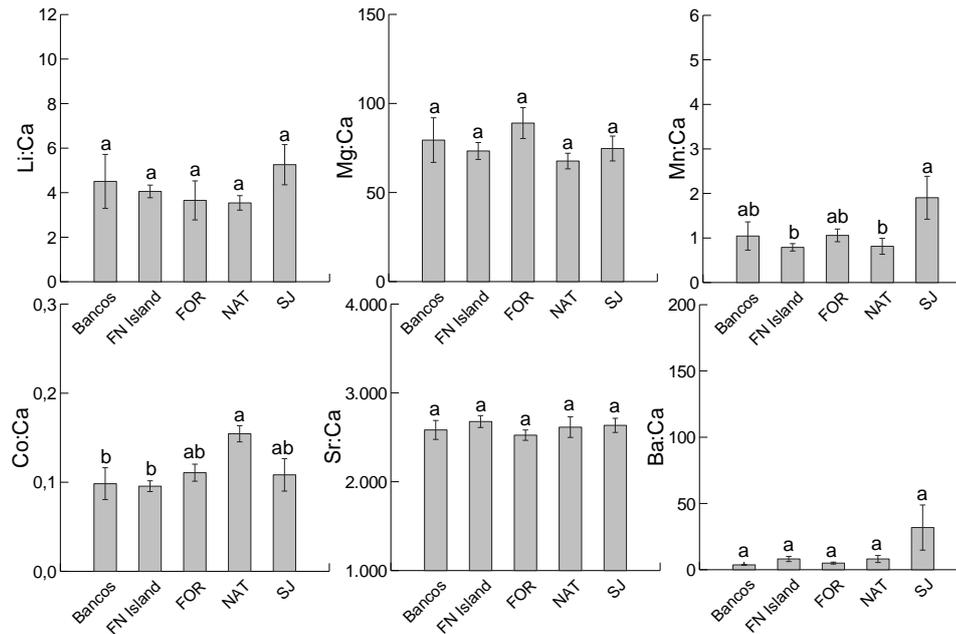


Figura 4. Média e erro padrão da razão elemento:Ca no núcleo dos otólitos de *L. jocu* com idades de 6 e 7 anos (2010 e 2011) coletados na área de estudo. Bancos (BG e BLS, agrupados devido ao n amostral para a idade), FN island (Fernando de Noronha), FOR (Fortaleza), NAT (Natal) e SJ (São José) (n=60).

Na borda dos otólitos, a composição química de elementos traço também apresentou resultado significativamente diferente entre os sítios estudados (MANOVA  $p < 0,001$ ). Fernando de Noronha foi responsável pela maior média de Mn:Ca (Figura 5). Assim como observado no core, Natal apresentou maiores valores de Co:Ca (ANOVA Co:Ca  $p < 0,001$ ). Fortaleza se destacou pelos maiores valores de Ba:Ca (ANOVA Ba:Ca  $p = 0,021$ ) e menores de Li:Ca (ANOVA Li:Ca  $p = 0,020$ ), enquanto os bancos tiveram altos valores de Mg:Ca (ANOVA Mg:Ca  $p = 0,021$ ) e Sr:Ca. De uma forma geral, os sítios localizados na zona oceânica apresentaram elevados valores de Sr:Ca.

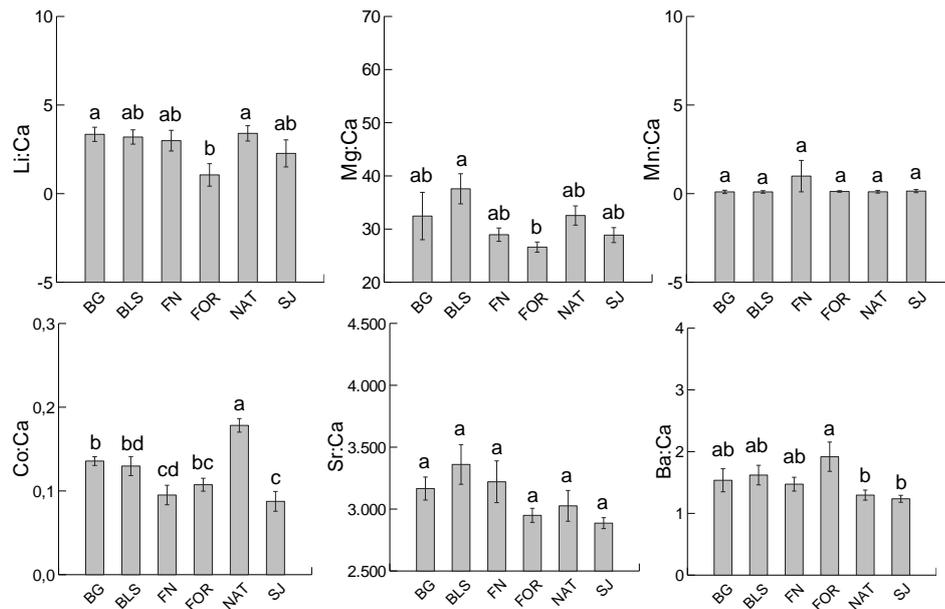


Figura 5. Média e erro padrão da razão elemento:Ca na borda dos otólitos coletados nos seis sítios estudados: BG e BLS (bancos submarinos), Fernando de Noronha (FN), Fortaleza (FOR), Natal (NAT) e São José (SJ).

### 3.4.3 Química do otólito como indicador de origem

São José apresentou-se como um sítio particularmente diferenciado dos demais com relação às médias dos elementos traço no núcleo, especialmente Ba:Ca e Mn:Ca (Figura 4). Este sítio também apresenta localização geográfica mais distante dos demais pontos (ao sul), por isso os resultados da QDFA são apresentados em duas abordagens, com e sem São José. Devido a sobreposições observadas na discriminação quadrática (QDFA) entre amostras provenientes de Fernando de Noronha e dos montes submarinos, eles foram agrupados como amostras oceânicas (“*oceanic samples*”) nesta análise.

Na análise feita com São José, quando considerado todas as amostras coletadas, a discriminação entre os sítios foi baixa (52% discriminado corretamente), apresentando valores mais elevados quando considerado apenas os exemplares de idades 6-7 anos (65% discriminado corretamente) (Tabela 3). Quando São José é colocado à parte, os valores da reclassificação melhoram, com 59% para todas as amostras e 78% quando consideradas idades semelhantes (Tabela 4), padrão também evidenciado na CDA (Figura 6).

A análise quadrática discriminante para a borda dos otólitos apresentou acurada reclassificação, com 77% quando incluídas as amostras de São José e 84% sem este sítio (Tabelas 3 e 4), discriminação também ilustrada no gráfico da CDA, onde se observa ainda a importância do Co:Ca para assinatura de Natal e Ba:Ca para Fortaleza (Figura 6).

Tabela 3. Resultados da classificação Jackknifed da análise quadrática discriminante (QDFA) em porcentagem de reclassificação correta considerando a razão elemento:Ca tanto para a região do núcleo considerando todas as amostras, como para apenas amostras de idades semelhantes, e borda.

	For	Nat	SJ	Oceanic	overall
<b>core of all samples</b>					
For	13	8	0	79	13
Nat	0	55	5	40	55
SJ	5	10	15	70	15
Oceanic	7	14	5	74	74
overall					<b>52</b>
<b>core of age 6-7 samples</b>					
For	50	0	0	50	50
Nat	0	88	0	13	88
SJ	9	0	45	45	45
Oceanic	16	0	13	71	71
overall					<b>65</b>
<b>edge</b>					
For	70	0	10	20	70
Nat	0	80	0	20	80
SJ	10	0	70	20	70
Oceanic	0	6	13	81	81
overall					<b>77</b>

Tabela 4. Resultados da classificação Jackknifed da análise quadrática discriminante (QDFA) em porcentagem de reclassificação correta considerando a razão elemento:Ca sem São José tanto para a região do núcleo considerando todas as amostras, como para apenas amostras de idades semelhantes, e borda.

	For	Nat	Oceanic	overall
<b>core of all samples</b>				
For	13	8	79	13
Nat	0	55	45	55
Oceanic	11	14	75	75
overall				<b>59</b>
<b>core of age 6-7 samples</b>				
For	50	0	50	50
Nat	0	88	13	88
Oceanic	16	0	84	84
overall				<b>78</b>
<b>edge</b>				
For	80	0	20	80
Nat	0	80	20	80
Oceanic	6	6	87	87
overall				<b>84</b>

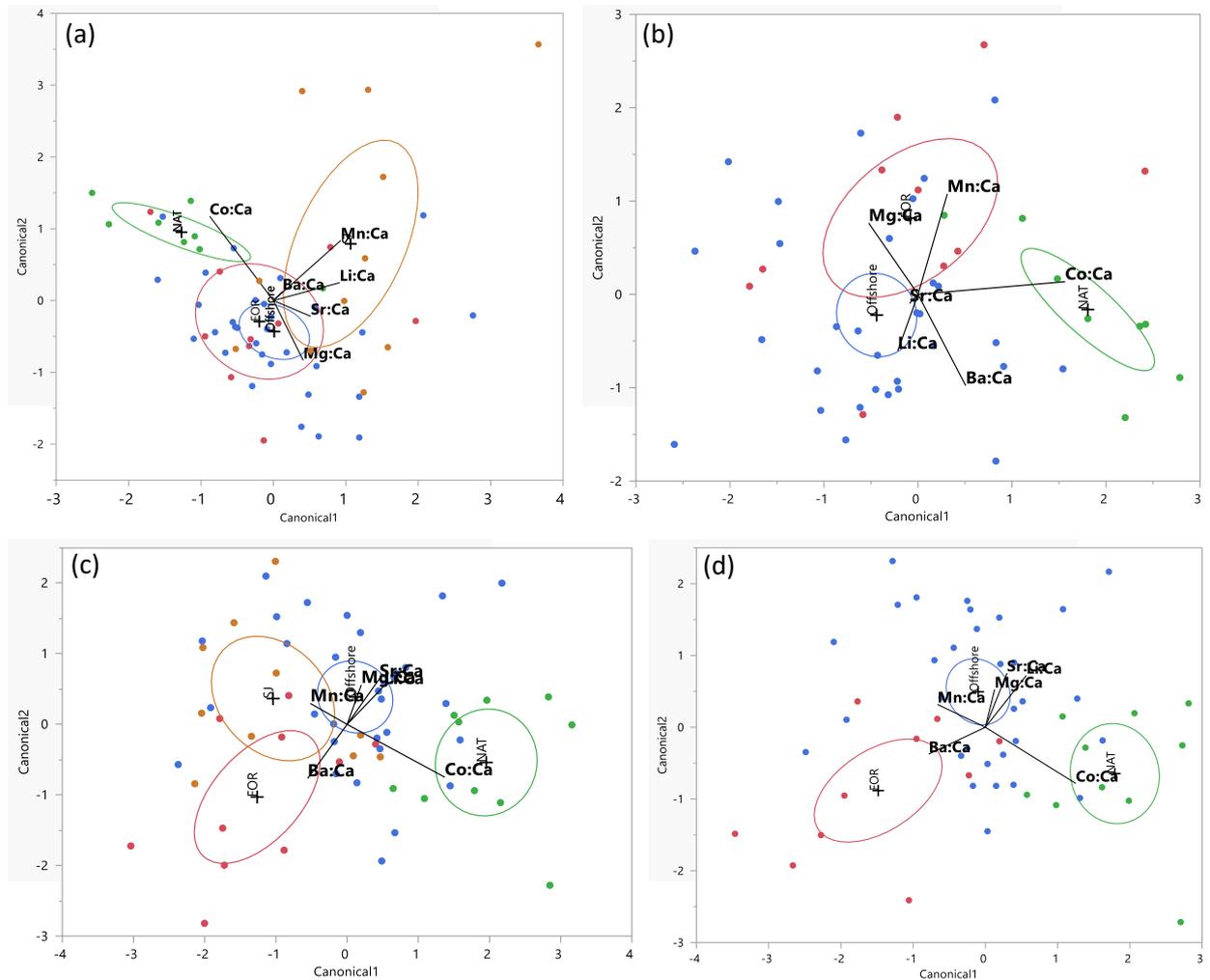


Figure 6. Gráficos da análise discriminante canônica (CDA) para assinatura de elementos traços no núcleo nas idades de 6-7 anos, com São José (a) e sem este sítio (b), e para a assinatura de elementos traços da borda com (c) e sem (d) São José. A cruz no meio das elipses representa a média multivariada e as elipses o nível de confiança de 95% para cada média. Azul representa a região oceânica, vermelho Fortaleza, verde Natal, e marrom São José.

### 3.5 Discussão

A unidade de estoque é um elemento fundamental para o manejo pesqueiro, ao mesmo tempo em que sua identificação constitui muitas vezes uma atividade complexa e desafiadora (Sparre & Venema, 1997). A análise geoquímica de otólitos tem despontado como uma ferramenta válida com grande potencial para contribuir nesta identificação (Campana et al., 2000). Devido às propriedades físico-químicas dos otólitos, que permitem o registro das

características ambientais das regiões que o peixe habitou, esta estrutura tem sido utilizada com sucesso como marcadores naturais na diferenciação de estoques (Rooker et al., 2003, 2008; Volpedo & Fernández Cirelli, 2006; Heidemann et al., 2012; Soeth et al., 2019).

A área analisada no presente estudo está localizada no contexto *do East Brazil Shelf Large Marine Ecosystems* (LME), região delimitada pela UNESCO devido à sua grande importância pesqueira e ecológica. Esta grande área pode ser dividida em duas ecorregiões, de acordo com o *Marine Ecoregions of the World (MEOW) system*, sendo uma costeira, ao longo da costa Nordeste do Brasil, e outra oceânica, envolvendo Fernando de Noronha e adjacências (Spalding et al., 2007). Estas duas ecorregiões são individualizadas devido às distinções biogeográficas que apresentam em comparação aos ecossistemas do entorno, as quais podem também se manifestar na estrutura populacional e estoques pesqueiros de espécies aí encontradas.

O *Lutjanus jocu* é uma espécie comum a toda esta região, e de relevante importância para a pesca local (Lindeman et al., 2016). Por ser o único Lutjanídeo de águas rasas presente tanto na plataforma continental como em ilhas oceânicas e montes submarinos do Nordeste brasileiro, esta espécie representa um caso em que a aplicabilidade da análise geoquímica de otólitos pode trazer à luz informações sobre características das áreas utilizadas como berçário, conectividade populacional e diferenciação de estoques.

No presente estudo foi possível observar que a composição química dos otólitos de *L. jocu* analisados apresentou diferentes assinaturas entre cada sítio costeiro estudado e na região oceânica.

Os resultados observados para o  $\delta^{18}\text{O}$  no núcleo dos otólitos indicam o uso de berçários com diferentes características pelos indivíduos dos sítios da plataforma continental e aqueles provenientes de regiões oceânicas. Os valores de oxigênio disponível e sua incorporação no otólito relaciona-se com a temperatura e a salinidade, apresentando-se mais reduzido à medida que a temperatura aumenta e a salinidade diminui (Thorrold et al., 1997; Elsdon & Gillanders, 2002; Kerr et al. 2007). Os maiores valores de  $\delta^{18}\text{O}$  no presente estudo foram observados nos otólitos dos peixes provenientes da região oceânica (montes submarinos e Fernando de Noronha) (Figura 3). Em regiões oceânicas a salinidade tende a ser maior que em regiões costeiras, o que pode ter contribuído para os diferentes valores encontrados neste isótopo. Em regiões costeiras esta espécie é recrutada, quando juvenil, em áreas rasas e ambientes estuarinos, onde a salinidade tende a ser menor. Em regiões oceânicas não estão disponíveis sistemas estuarinos que possam ser utilizados pelos peixes como refúgio. O aporte de água doce para o oceano na ilha de Fernando de Noronha é sazonal, proveniente do escoamento durante a estação

de chuva ou quando, em anos excepcionalmente chuvosos, a barra de uma pequena lagoa de mangue, localizada no lado barlavento da ilha, se abre para o oceano (Sazima et al., 2009). Tendo em vista esta limitada contribuição de Noronha e a ausência do aporte de água continental nos montes submarinos, é esperado que maiores valores de salinidade estejam nos sítios oceânicos, o que seria responsável pelo elevado valor de  $\delta^{18}\text{O}$  observado na área.

Os resultados dos elementos traço apresentaram padrões diferenciados entre os sítios estudados. Em São José foram observados os maiores valores médios de Ba:Ca e Mn:Ca, destacando-o das demais localidades. O bário é um elemento cuja concentração relaciona-se tipicamente ao aporte de águas com baixas salinidades e rica em nutrientes (Elsdon & Gillanders 2005; Hamer et al., 2006). Em São José é encontrado o rio Una, importante afluente da região. Sua bacia fluvial é extensivamente utilizada pela indústria agrícola, com o uso de pesticidas e insumos que podem vir a contribuir para elevados valores de Ba nos espécimes recrutados nesta região (Cetesb, 2007; Martinelli & Filoso, 2008). Ademais, o ano de nascimento dos peixes considerados nesta análise foi um período de la niña (2010-2011, exemplares de 6-7 anos de idade), quando taxas de precipitação históricas foram registradas nesta área (o maior índice pluviométrico desde 1997 até 2017). Estas taxas recordes de chuva foram responsáveis por um grande aporte de água continental no estuário e entorno, trazendo elementos presentes em toda sua bacia hidrográfica, o que pode ter contribuído para uma forte marca de bário nas amostras provenientes desta região.

Em regiões oceânicas, Mn é dominado por aportes externos, estando relacionado, entre outras fontes, a origens fluviais e atmosféricas (Landing & Bruland, 1980) ou atividade microbiológica (Klinkhammer & McManus, 2001). Nesta perspectiva, a pluma do rio Una pode também ser responsável pelo pico deste elemento observado em São José (Figuras 4 e 6). Vale ressaltar, no entanto, que sua incorporação no otólito, pode também estar sujeita a atividades fisiológicas e metabólicas do organismo (Thomas et al., 2017).

Natal foi marcado pelos elevados valores de Co:Ca apresentados, destacado na assinatura química do núcleo (Figura 4) e identificado também como o principal elemento para a discriminação deste sítio (Figura 6). A presença deste elemento tem sido relacionada com poluição ambiental (Roopnarine et al., 2011; Joung & Shiller, 2013), ressurgência de águas enriquecidas (Saito & Moffett, 2002) e pode também estar relacionado a características específicas da região. Vale ressaltar, no entanto, que, assim como o Mn, estudos têm sinalizado a importância de questões fisiológicas na incorporação do Co em otólitos, que devem ser considerados (Thomas et al., 2017).

A borda do otólito retrata a assinatura química do ambiente habitado pelo peixe antes de ser capturado. Resultados da sua análise mostraram diferença significativa na composição de praticamente todos os elementos traço entre os sítios estudados. O Co:Ca apresentou o mesmo padrão observado no núcleo, com maiores valores em Natal, sinalizando ser este um importante elemento, que pode ser utilizado em estudos futuros para identificação de *L. jocu* ou até outras espécies provenientes desta região. O Sr:Ca teve médias semelhantes entre si nos sítios oceânicos, mais elevadas que as amostras costeiras. O estrôncio é um elemento conhecido por apresentar uma positiva relação com a salinidade (Secor & Rooker 2000), o que pode justificar seus maiores valores nas regiões oceânicas. As amostras de Fernando de Noronha e dos montes submarinos, pela distância da costa e direção da corrente que passa por estes locais (SECc, leste-oeste), estão menos sujeitas à influência continental, já os espécimes de Fortaleza, Natal e São José, provenientes de pescarias sobre a plataforma continental, estão mais sujeitos a contribuições costeiras em sua assinatura, como aporte de água continental e sedimento, que podem contribuir para menores salinidades e uma assinatura química específica característica destas regiões.

O uso de uma assinatura multivariada, composta pela combinação de diferentes elementos, permite melhor discriminação entre grupos de peixes do que a análise individual de cada um destes elementos (Campana, 2000). Neste sentido foi realizada também a análise discriminante quadrática (QDFA) e a análise discriminante canônica (CDA), considerando todos os elementos quantificados.

Devido ao particular comportamento de São José com relação aos elementos traço (especialmente Ba:Ca e Mn:Ca), a análise discriminante quadrática foi feita em duas abordagens, com a presença e a ausência deste sítio (Tabelas 3 e 4). Uma grande variabilidade na composição elementar de São José pode ter contribuído para que não fosse bem discriminado pela QDFA, de maneira que melhores resultados de discriminação entre os sítios foram observados sem a inclusão desta localidade na análise (Tabela 4). Estudos complementares são sugeridos especificamente para São José, como análise de água e de exemplares jovens (idade 0 ou 1), para melhor compreensão de características específicas que esta região apresenta.

A análise dos elementos traço na QDFA indicaram diferentes assinaturas entre Fortaleza, Natal, São José e a região oceânica. Quando consideradas todas as amostras de idades variadas a discriminação entre os sítios não foi muito clara. Quando inseridas apenas amostras de idades semelhantes (6-7 anos), os sítios foram mais claramente discriminados (Tabelas 4 e 5; Figura 6a e 6b).

A região oceânica chegou a apresentar discriminação de 84% quando consideradas amostras com idades semelhantes (Tabela 4). O arquipélago de Fernando de Noronha é banhado pelo ramo central corrente Sul Equatorial (SECc), que atravessa o Atlântico de leste a oeste e, após passar pela ilha, segue em direção à região dos montes submarinos, até alcançar a plataforma continental do Nordeste do Brasil (Peterson & Stramma, 1991) (Figura 1). Características específicas desta corrente, e o fato de ser ela a única a influenciar esta região podem ter contribuído para que Fernando de Noronha e os montes submarinos fossem bem agrupados entre si e discriminados da região costeira, expresso na acurada classificação obtida na QDFA da região oceânica.

Em Fortaleza foram observados os menores valores na QDFA (Tabela 4). Esta região é localizada em frente à chegada da SECc na plataforma continental, vindo de Fernando de Noronha e dos montes submarinos (Figura 1). A localização geográfica de Fortaleza pode contribuir para a assinatura química observada nesta área, com 50% de reclassificação correta, enquanto que os outros 50% foi reclassificada como oceânica. Estudos têm mostrado a existência de conectividade entre Fernando de Noronha e a plataforma continental Nordeste por meio da SECc, com potencial de dispersão larval desde a ilha, até Fortaleza e costa Norte brasileira (Endo et al., 2019). O transporte larval entre a região oceânica e Fortaleza foi identificada em estudos pretéritos utilizando diferentes metodologias, sendo elas a análise da dispersão de larvas de lagosta (Pallinuridae) através do transporte superficial por satélites (Rudorff et al 2009); análise genética da *Mussismilia hispida* na costa brasileira (Pelluso et al 2018); e modelagem hidrodinâmica e dispersão lagrangeana para a simulação da dispersão larval do *Sparissoma* sp. (Endo et al., 2019). Desovas da população oceânica de *L. jocu* já identificadas (Viana, 2018) poderiam, portanto, estar contribuindo para o recrutamento na região de Fortaleza. Estudos com análise química de otólitos de larvas ou recém assentantes (idade 0), são sugeridos para verificar esta possibilidade.

Na borda, a QDFA apresentou discriminação geral de 77% quando considerado São José na análise e 84% sem este sítio. A CDA da borda do otólito evidencia a segregação entre as diferentes assinaturas das amostras provenientes de diferentes sítios (Figura 6c e 6d). O fato de as amostras terem sido coletadas no intervalo de um ano em todos os locais (fev/2017-fev/2018) pode ter contribuído para uma separação mais clara entre eles, representada pelos valores mais elevados de QDFA na borda, em comparação com o núcleo.

A QDFA apresentou padrões diferenciados quando consideradas todas as amostras e apenas aqueles com idades semelhantes, sinalizando que o ano de nascimento é um fator que interfere na assinatura química registrada nos otólitos do *Lutjanus jocu* e deve ser considerado

em estudos futuros. Tais divergências podem ser relacionadas à existência de variabilidade interanual na composição elementar dos otólitos, devido a variações climáticas e ambientais, que pode eventualmente confundir interpretações espaciais e de origem (Gillanders 2002).

Pode-se concluir, no presente estudo, que a análise de isótopos estáveis indicou separação entre áreas de berçários costeiras e oceânicas, e os elementos traço evidenciaram pelo menos 4 locais de berçários para o *L. jocu* no Nordeste do Brasil, três costeiros e um oceânico, sugerindo que estas regiões compõem diferentes estoques, especialmente no contexto oceânico versus costeiro.

Estudos com modelagem hidrodinâmica e simulação lagrangeana para dispersão larval demonstraram conectividade mediada por fluxo larval (Endo et al., 2019) e também existência de auto-recrutamento para o *L. jocu* (Tchamabi et al., 2018). De fato, estudos utilizando DNA mitocondrial apontaram a existência de uma única população genética panmítica ao longo da zona costeira na plataforma continental do Nordeste do Brasil (Souza et al., 2009). No presente trabalho assinaturas químicas distintas foram observadas entre as regiões costeiras e oceânicas, e também entre a região costeira mais ao sul e as duas ao norte da área de estudo, sugerindo que apesar de haver fluxo gênico (Endo et al., 2019; Souza et al., 2019) a fidelidade aos sítios estudados na fase pós recrutamento pode levar a formação de diferentes unidades de estoques pesqueiros.

Os resultados encontrados no presente estudo poderão contribuir para a gestão da pesca do *L. jocu* no Atlântico Sudoeste, considerando o manejo das diferentes unidades de estoque identificadas, visando à sustentabilidade da pesca e conservação do recurso.

## Referências

- Almeida F.F.M. 2006. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. *Terrae didatica* 2(1): 3-18
- Aschenbrenner, A., Hackradt, C.W., & Ferreira, B.P. 2016. Spatial variation in density and size structure indicate habitat selection throughout life stages of two Southwestern Atlantic snappers. *Marine Environmental Research*, 113, 49–55.
- Biggs, Christopher R., and Richard S. Nemeth. 2016. “Spatial and Temporal Movement Patterns of Two Snapper Species at a Multi-Species Spawning Aggregation.” *Mar Ecol Prog Ser* 558 (November): 129–42. <https://doi.org/10.3354/meps11846>.
- Campana, S.E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar Ecol Prog Ser* 188: 263–297

- Campana, S.E., Chouinard, G.A., Hanson, J.M., FreËchet, A., Bratley J. 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fisheries Research* 46:343-357
- Carter, J. & Perrine, D. 1994. A spawning aggregation of dog snapper *Lutjanus jocu* (Pisces: Lutjanidae) in Belize, Central America. *Bulletin of Marine Science*, 55, 228-234
- da Silveira, I. C. A., de Miranda, L. B., and Brown, W. S. 1994, On the origins of the North Brazil Current, *J. Geophys. Res.*, 99( C11), 22501– 22512, doi:10.1029/94JC01776.
- da Silveira, C. B. L., Reuss Strenzel, G. M., Maida, M. & Ferreira, B. P. 2020 Pushing satellite imagery to new depths: Seascape feature mapping in a tropical shelf. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 19 (2020) 100345. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100345>
- Elsdon T. S., Gillanders B. M. 2005. Consistency of patterns between laboratory experiments and field collected fish in otolith chemistry: an example and applications for salinity reconstructions. *Marine and Freshwater Research* 56, 609-617. <https://doi.org/10.1071/MF04146>
- Elsdon, T.S. & Gillanders, B.M. 2002 Interactive effects of temperature and salinity on otolith chemistry: challenges for determining environmental histories of fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 59(11): 1796-1808. <https://doi.org/10.1139/f02-154>
- Endo, Clarissa Akemi Kajiya, Douglas Francisco Marcolino Gherardi, Luciano Ponzi Pezzi, and Leonardo Nascimento Lima. 2019. “Low Connectivity Compromises the Conservation of Reef Fishes by Marine Protected Areas in the Tropical South Atlantic.” *Scientific Reports* 9 (1): 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45042-0>.
- Floeter, S.R, Rocha L., Ferreira, C.E.L., Rangel C., & Feitoza B.M. 2003. Brazilian Reef Fish Fauna : Checklist. *Atlantic*, no. January: 1–22.
- Frédou, T. & Beatrice P.F. 2005. Bathymetric Trends of Northeastern Brazilian Snappers (Pisces, Lutjanidae): Implications for the Reef Fishery Dynamic. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48 (5): 787–800. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132005000600015>.
- Frédou T., Ferreira, B. P. & Letourneur, Y. 2006. A univariate and multivariate study of reef fisheries off northeastern, Brazil. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 883-896.
- Frédou T., Ferreira, B. P. & Letourneur, Y. 2009. Assessing the stocks of the primary snappers caught in Northeastern Brazilian Reef Systems. 2-A multi-fleet age-structured approach. *Fisheries Research*, 99 (2), 97-105
- Green, B. S.; Mapstone, B. D.; Carlos, G.; Begg, G. A. 2009. *Tropical Fish Otoliths: Information for Assessment, Management and Ecology*. Springer
- Hamer, P.A., Jenkins, G.P., Coutin, P. 2006. Barium variation in *Pagrus auratus* (Sparidae) otoliths: a potential indicator of migration between an embayment and ocean waters in southeastern Australia. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 68, 686–702. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.03.017>.

Heidemann, F., L. Marohn, H. H. Hinrichsen, B. Huwer, K. Hüsey, A. Klügel, U. Böttcher, and R. Hanel. 2012. Suitability of Otolith Microchemistry for Stock Separation of Baltic Cod. *Mar Ecol Prog Ser* 465: 217–26. <https://doi.org/10.3354/meps09922>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 176p.

Joung D, & Shiller AM. 2013. Trace element distributions in the water column near the Deepwater Horizon well blowout. *Environ Sci Technol*. 47(5):2161-8. doi: 10.1021/es303167p

Kerr L.A., Secor D.H., Kraus R.T. 2007 Stable isotope ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) and Sr/Ca composition of otoliths as proxies for environmental salinity experienced by an estuarine fish. *Mar Ecol Prog Ser* 349:245-253. <https://doi.org/10.3354/meps07064>

Kitchens, L.L., J.R. Rooker, L. Reynal, B.J. Falterman, E. Saillant, and H. Murua. 2018. Discriminating among Yellowfin Tuna *Thunnus Albacares* Nursery Areas in the Atlantic Ocean Using Otolith Chemistry. *Mar Ecol Prog Ser* 603 (September): 201–13. <https://doi.org/10.3354/meps12676>.

Klinkhammer, G. P., and McManus, J. 2001. Dissolved manganese in the Columbia River estuary: production in the water column. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65, 2835–2841. doi:10.1016/S0016-7037(01) 00650-0

Klippel, S., Olavo, G., Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Peres, M. B. 2005. Avaliação dos estoques de lutjanídeos da Costa Central do Brasil: análise de coortes e modelo preditivo de Thompson e Bell para comprimentos. In: Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Olavo, G. (Eds). *Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira* (pp. 83-98), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.

Landing, W.M. and Bruland, K.W. 1980. Manganese in the North Pacific. *Earth and Planetary Science Letters* 49(1): 45-56

Lessa, R.P. 2006. Recursos Pesqueiros da Região Nordeste. In: Ministério do Meio Ambiente (Ed). *Programa REVIZEE: avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva - Relatório Executivo* (pp. 152-180), Brasília, Brasil.

Lindeman, K., Anderson, W., Carpenter, K. E., Claro, R., Cowan, J., Padovani-Ferreira B., et al. 2016. *Lutjanus jocu*. The IUCN Red List of Threatened Species.

Martinelli LA, Filoso S. 2008. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges. *Ecol Appl*. Jun;18(4):885-98. doi: 10.1890/07-1813.1. PMID: 18536250.

Martins, A. S., Costa, P. A. S., Olavo, G. & Haimovici, M. 2006. Recursos Pesqueiros da Região Central. In Ministério do Meio Ambiente (Ed). *Programa REVIZEE: avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva - Relatório Executivo* (pp. 181-206), Brasília, Brasil.

Macedo S.J., Montes M.J.F., e Costa, K.M.P. 2009. Condições Hidrológicas da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Nordeste do Brasil In Hazin, F.H.V. *Meteorologia e*

*Sensoriamento Remoto, Oceanografia Física, Oceanografia Química e Oceanografia Geológica*. Fortaleza: Editora Martins e Cordeiro. Programa Revizee – Score Nordeste. 248p.

Moura, R. L., Francini-Filho, R. B., Chaves, E. M., Minte-Vera, C. V., & Lindeman, K. C. 2011. Use of riverine through reef habitat systems by dog snapper (*Lutjanus jocu*) in eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95(1), 274–278.

Paris, C B, R K Cowen, R Claro, and K Lindeman. 2005. Larval Transport Pathways from Cuban Spawning Aggregations (Snappers; Lutjanidae) Based on Biophysical Modeling. *Mar Ecol Prog Ser* 296 (93–106): 93–106. <https://doi.org/10.3354/meps296093>.

Rezende, S. M. & Ferreira, B. P. 2004. Age, Growth and Mortality of Dog Snapper *Lutjanus jocu* (Bloch & Schneider, 1801) in the Northeast Coast of Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 52 (2): 107–21. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592004000200003>.

Rooker, J. R., Secor, D. H., Zdanowicz, V. S., De Metrio, G., & Relini, L. O. 2003. Identification of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) stocks from putative nurseries using otolith chemistry. *Fisheries Oceanography* 12:75–84.

Rooker, J.R.; Secor, D.S.; de Metrio, G.; Schloesser, R.; Block, B.A.; Neilson, J.D. 2008. Natal Homing and Connectivity in Atlantic Bluefin Tuna Populations. *Science*, vol 322, 31 October 2008

Roopnarine, P. D.; Roopnarine, D.; Gillikin, D. P.; Anderson, L. C.; Ballester, M.; Goodwin, D. H. 2011. Uptake of heavy metals and PAHs from the Deepwater Horizon oil spill by soft tissues and shells of the coastal oyster *Crassostrea virginica*. *American Geophysical Union*, Fall Meeting 2011, abstract id. B33E-0517

Saito, M.A. & Moffett, J.W. 2002. Temporal and spatial variability of cobalt in the Atlantic Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 66(11):1943-1953. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(02\)00829-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(02)00829-3).

Sazima, I., Grossman, A., Carvalho-Filho, A., & Sazima, C. 2009. First record of the tripletail or blackfish (*Lobotes surinamensis*) from an oceanic island in the South Atlantic. *Marine Biodiversity Records*, 2, E97. doi:10.1017/S1755267209001195

Spalding, M.D., Fox, H.E., Allen, G.R., Davidson, N., Ferdaña, Z.A., Finlayson, M., Halpern, B.S., Jorge, M.A., Lombana, A., Lourie, S.A., Martin, K.D., McManus, E., Molnar, J., Recchia, C.A., Robertson, J. 2007. Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience*, 57(7):573–583. <https://doi.org/10.1641/B570707>

Sparre, P. & Venema, S.C. 1997. *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales* No. 04; SH327. 5, S63. Roma: FAO.

Stramma L., Schott F. 1999. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research II* 46:279–303

Soeth, M., Spach, H.L., Daros, F.A., Adelar-Alves, J., de Almeida, A.C.O., Correia, A.T. 2019. Stock structure of Atlantic spadefish *Chaetodipterus faber* from Southwest Atlantic Ocean inferred from otolith elemental and shape signatures. *Fisheries Research*, 211:81-90, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.11.003>

Souza A.S., Dias Júnior E.A., Perez M.F., Cioffi M.B., Bertollo L.A.C., Garcia-Machado E., Vallinoto M.N.S., Galetti P.M. Jr & Molina W.F. 2019. Phylogeography and Historical Demography of Two Sympatric Atlantic Snappers: *Lutjanus analis* and *L. jocu*. *Front. Mar. Sci.* 6:545. doi: 10.3389/fmars.2019.00545

Tchamabi, C.C., Araujo, M., Silva, M., Bourlès, B., & Travassos, P. 2018. Ichthyoplankton transport around the Brazilian Fernando de Noronha archipelago and Rocas Atoll: Are there any connectivity patterns?. *Indian Journal of Geo Marine Sciences* 47(04): 812-818

Thomas O.R., Ganio K., Roberts B.R., Swearer S.E. 2017. Trace element-protein interactions in endolymph from the inner ear of fish: implications for environmental reconstructions using fish otolith chemistry. *Metallomics*. Mar 22;9(3):239-249. doi: 10.1039/c6mt00189k. PMID: 28091665.

Thorrold S.R., Campana S.E., Jones C.M., Swart P.K. 1997 Factors determining  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  fractionation in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochim Cosmochim Acta* 61: 2909–2919

Vacchi, M., P. N. Psomadakis, N. Repetto, and M. Würtz. 2010. First Record of the Dog Snapper *Lutjanus jocu* in the Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology* 76 (3): 723–28. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02505.x>.

Viana, J.M.W. 2018. Dissertação de mestrado - Pesca e biologia reprodutiva do dentão (*Lutjanus jocu*) no arquipélago de Fernando de Noronha. Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco

Volpedo, A.V., Fernández Cirelli, A., 2006. Otolith chemical composition as a useful tool for sciaenids stock discrimination in Southwestern Atlantic. *Scientia Marina*, 70(2): 325-334

#### **4 ARTIGO 3 - IDADE, CRESCIMENTO E PESCA DO DENTÃO (*Lutjanus jocu*) EM FERNANDO DE NORONHA, UMA ILHA OCEÂNICA NO NORDESTE DO BRASIL**

*Age, growth and fishery of dog snapper (*Lutjanus jocu*) in Fernando de Noronha, an oceanic island in Northeastern Brazil*

**Aline R. França<sup>1</sup>; Juliana M. W. Viana<sup>1</sup>; Eduardo C. Macedo<sup>2</sup>; Jonas E. Vasconcelos-Filho<sup>1</sup>; Beatrice P. Ferreira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco.

<sup>2</sup>Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

##### **4.1 Resumo**

O *Lutjanus jocu* é uma espécie de importância pesqueira em toda a sua área de ocorrência, estando entre os principais recursos explorados pela pesca artesanal no Nordeste brasileiro. Atualmente está classificada como *data deficiente* pela IUCN, e quase ameaçada no Brasil, onde também já atingiu o seu máximo rendimento sustentável na pesca. Esta espécie ocorre em regiões costeiras e oceânicas, e está inserida entre os alvos da pesca artesanal desenvolvida em Fernando de Noronha. O presente estudo teve como objetivo caracterizar a pesca e avaliar parâmetros de idade e crescimento de *Lutjanus jocu* capturado pela atividade pesqueira em Fernando de Noronha, comparando com resultados obtidos para a espécie em outras regiões. Foram analisados dados do monitoramento pesqueiro desenvolvido pelo ICMBio na ilha de 2013 a 2015. Amostragens biológicas foram também conduzidas de 2016 a 2017 para biometria e coleta de otólitos. No total 1069 desembarques foram analisados e otólitos de 124 indivíduos coletados. Foram identificados os principais sítios de pesca para a espécie e analisada a distribuição da captura por unidade de esforço (CPUE) ao longo do ano. A CPUE média global registrada foi de 5,25 kg/pescador.dia para desembarques com captura da espécie considerando todo o período amostrado, valor maior que o observado para o *L. jocu* em regiões costeiras. A presença de duas unidades de conservação, uma de proteção integral e outra de uso sustentável, podem estar relacionadas às elevadas CPUE observadas. As idades foram também verificadas, sendo encontrados exemplares de 4 a 27 anos (com comprimentos furcais de 39,0 a 86,9cm). Parâmetros de von Bertalanfy para idade e crescimento foram estimados, e valores encontrados são compatíveis com estudos para a espécie desenvolvidos em regiões costeiras.

Palavras-chave: otólito, pesca artesanal, peixe recifal, linha de mão, unidade de conservação

## 4.2 Introdução

A família Lutjanidae é caracterizada por apresentar distribuição tropical e subtropical. Suas espécies podem ser encontradas em ambientes estuarinos, recifes costeiros, pradarias de fanerógamas marinhas e formações recifais ao longo da plataforma continental, além de ocorrerem também em montes submarinos e ilhas oceânicas (ALLEN, 1985; CERVIGÓN, 1992; FRÉDOU & FERREIRA 2005; CLARO & LINDEMAN 2008). Esta família destaca-se pela grande importância pesqueira em toda a sua área de ocorrência, estando entre os principais recursos explorados pela pesca artesanal no Nordeste brasileiro (COSTA et al., 2005; FRÉDOU & FERREIRA 2005; FREITAS et al., 2011). A intensa exploração, no entanto, contribuiu para que algumas espécies atingissem alto grau de ameaça, como o *Lutjanus cyanopterus* e *Lutjanus purpureus*, inseridos na lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção (ICMBio 2018; LINDEMAN et al., 2016).

O *Lutjanus jocu* (BLOCH & SCHNEIDER, 1801) é uma espécie de Lutjanídeo que se encontra distribuído no Atlântico Ocidental desde Massachusetts (Estados Unidos) até o sudeste do Brasil, incluindo a região do Golfo do México e Caribe (ALLEN, 1985; CLARO & LINDEMAN, 2008), com registros também no Mar Mediterrâneo (VACCHI et al., 2010) e na ilha de Ascensão (WIRTZ et al., 2017). Encontrado em profundidades de até mais de 100m (FRÉDOU & FERREIRA 2005), possui hábito predominantemente solitário, podendo formar grandes agregações no período da desova (CARTER & PERRINE, 1994; SADOVY et al., 2008; BIGSS, 2016). Atualmente está classificado como *data deficiente* pela *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* – IUCN, no entanto avaliações de estoque no Nordeste do Brasil relatam ter a espécie já atingido o seu máximo rendimento sustentável na pesca (MARTINS et al., 2006; LESSA, 2006; FRÉDOU et al. 2009; IUCN, 2020), chegando também a ser classificado como quase ameaçado (*near threatened* - NT) em águas brasileiras (ICMBio, 2018).

Estudos de idade e crescimento podem trazer importantes subsídios para a gestão e manejo de uma espécie, à medida que fornecem informações que contribuem para estimativa do potencial reprodutivo, taxa de crescimento, mortalidade, recrutamento à pesca e produtividade dos estoques (CAMPANA, 2011). Alguns estudos desta natureza foram feitos no Brasil para a espécie, abrangendo a plataforma continental do Nordeste e bancos oceânicos desta região (REZENDE & FERREIRA, 2004; REZENDE 2008), costa central do Brasil (KLIPPEL et al., 2005) e o Banco de Abrolhos, no sul do estado da Bahia (PREVIERO et al., 2011). Nos Estados Unidos, POTTS & BURTON (2017) também avaliaram os padrões de idade

e crescimento de *L. jocu* na área que se estende desde a Carolina do Norte ao Sudeste da Flórida, enquanto CLARO et al. (1999) estudaram padrões de crescimento da espécie em Cuba.

O dentão *L. jocu* se destaca por ser o único lutjanídeo de águas rasas com população estabelecida em ilhas e bancos oceânicos da costa Nordeste, onde é explorado pela pesca artesanal (REZENDE & FERREIRA, 2004; SCHMID et al., 2020). Fernando de Noronha é o único arquipélago habitado por população permanente neste sistema, e o dentão é uma das espécies demersais alvo da pesca local (DOMINGUEZ, et al., 2016). Em ambientes insulares o isolamento provocado pelo distanciamento da plataforma continental pode contribuir para uma maior vulnerabilidade da população explorada, exigindo medidas de manejo adequadas à realidade local.

O conhecimento das características da pesca do *L. jocu* em Fernando de Noronha, assim como a estrutura etária e padrões de crescimento da população explorada pela frota artesanal, poderá contribuir para melhor compreensão da biologia da espécie e manejo deste recurso pesqueiro. Desta forma o presente artigo teve como objetivo caracterizar a pesca e avaliar parâmetros de idade e crescimento de *Lutjanus jocu* capturado pela pesca em Fernando de Noronha, comparando com resultados obtidos para a espécie em outras regiões.

### **4.3 Materiais e Métodos**

#### **4.3.1 Área de estudo**

O presente estudo foi desenvolvido na ilha de Fernando de Noronha, localizado há 360km da costa no Atlântico Sudoeste (3°51'S/32°25'O). A ilha, de origem vulcânica, é banhada pelo ramo central da Corrente Sul Equatorial e está cercada por profundidades em torno de 4000m (SILVEIRA et al. 2000; ALMEIDA, 2006). A região foi declarada como Patrimônio Mundial da Humanidade (UNESCO, 2001), e encontra-se protegida por duas unidades de conservação ambiental. O Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha (PARNAMAR Noronha), confere proteção integral a 2/3 da ilha principal e a todas as menores ilhas do arquipélago, se estendendo na área marinha até a isóbata de 50m. A Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha (APA Noronha) abrange maiores profundidades, com área iniciada nos limites do PARNAMAR e se estendendo até o limite das coordenadas 03°45'S - 03°57'S e 32°19'W - 32°41'W (ICMBio, 2017) (Figura 01). Na APA é permitido o desenvolvimento da pesca artesanal, a qual é realizada com embarcações de pequeno e médio porte e tem como principal arte de pesca a linha de mão, utilizada na captura de espécies pelágicas e demersais, dentre as quais está o *Lutjanus jocu* (dentão) (DOMINGUEZ et al., 2016; LOPES et al., 2017).

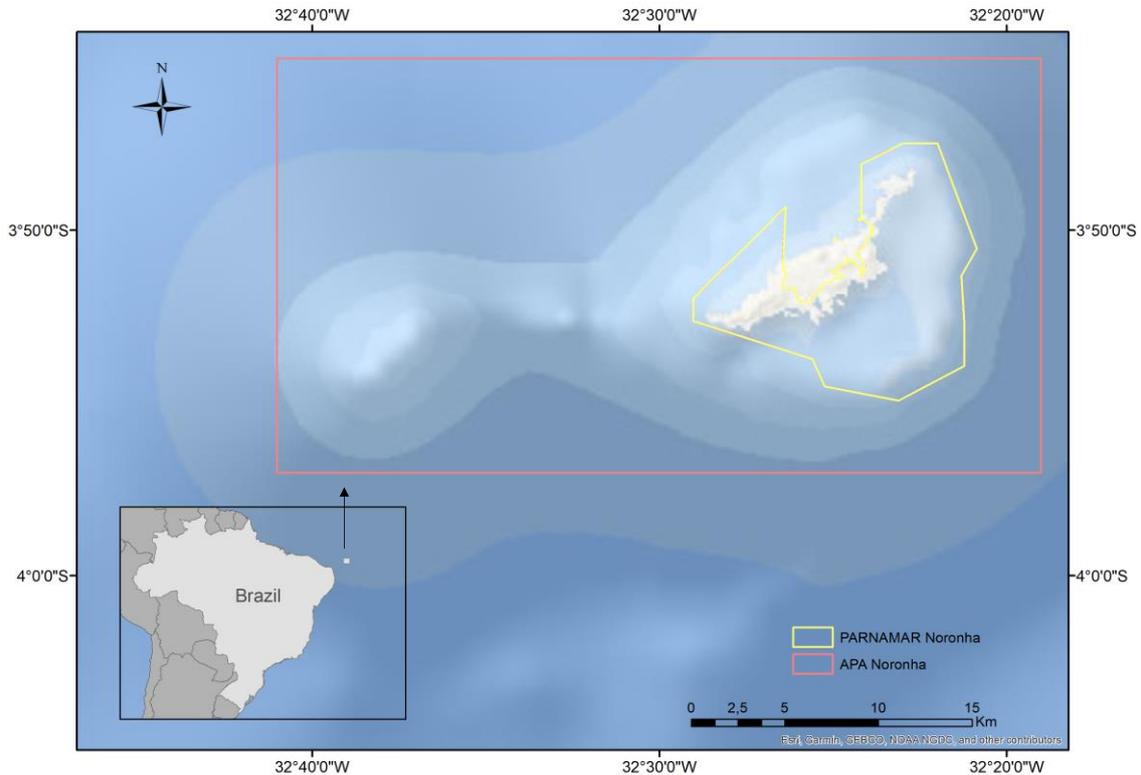


Figura 01. Localização da ilha de Fernando de Noronha e unidades de conservação.

#### 4.3.2 Dados da pesca

Foram analisados dados do monitoramento pesqueiro desenvolvido na ilha de Fernando de Noronha, disponibilizados em parceria com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), para o período de abril/2013 a março/2015. Todos os desembarques tiveram registradas a data e hora de saída e de retorno, número de pescadores embarcados, sítio de pesca onde a pescaria foi realizada (pesqueiro), número de indivíduos capturados por espécie e peso (kg).

Para análise da pesca foi utilizada a captura por unidade de esforço (CPUE), expressa em kg/pescador.dia e calculada de acordo com a seguinte equação:

$$CPUE = C / (P * D)$$

Onde C = captura total da espécie na viagem de pesca em kg

P = número de pescadores embarcados na viagem de pesca

D = duração da pesca em dias de pesca

#### 4.3.3 Coleta e processamento de otólitos

Durante o período de julho/2016 a agosto/2017, exemplares de *Lutjanus jocu* provenientes da pesca de linha de mão realizada em Fernando de Noronha foram amostrados. Após o desembarque no porto da ilha, cada indivíduo teve seus comprimentos furcal, total e padrão verificados (em centímetros), assim como o peso eviscerado (em gramas). Em seguida os otólitos sagitae foram retirados, limpos e acondicionados a seco (SECCOR, 1991). Devido à dinâmica do desembarque e imediata comercialização ou acondicionamento do pescado, nem todos os exemplares puderam ter os otólitos coletados. No total 214 peixes foram amostrados, com otólito coletado em 136 destes. Em laboratório, foi verificado o peso dos otólitos íntegros, sendo selecionado, para efeitos de análises, preferencialmente o otólito direito (apenas em situações de comprometimento deste o esquerdo foi considerado). No total 111 otólitos foram pesados (96 direitos e 15 esquerdos). Em seguida todos os otólitos coletados foram emblocados em resina poliéster e cortados em serra metalográfica *Isomet Low-Speed* (Buehler). Em cada otólito foram feitos sucessivos cortes na região do núcleo, com espessura de 0.25mm a 1.0mm, os quais foram posteriormente lixados, polidos e colados com Entellan em lâminas de vidro para leitura. Os cortes foram lidos a partir da contagem das bandas opacas em esteromicroscópio com luz transmitida para verificação da idade (Figura 02). Duas leituras foram conduzidas em cada otólito pelo mesmo leitor, com intervalo de um mês entre elas. Amostras que apresentaram divergência na idade entre as duas leituras foram submetidas a uma terceira leitura por um segundo leitor experiente. Quando havia concordância entre a leitura do segundo leitor e uma das leituras do primeiro leitor, esta idade era adotada. Quando a leitura do segundo leitor discordou de uma das leituras do primeiro, a amostra foi vista mais uma vez pelos dois leitores juntos. Se um consenso fosse alcançado, a amostra era mantida, caso contrário, a amostra era excluída e separada para análises futuras.

Uma subamostra foi ainda submetida à leitura por leitor de outra instituição para calibração interlaboratorial (n=47). A precisão entre as leituras dos dois laboratórios foi avaliada pelo Index Average Percent Error (IAPE) (BEAMISH & FOURNIER, 1981).

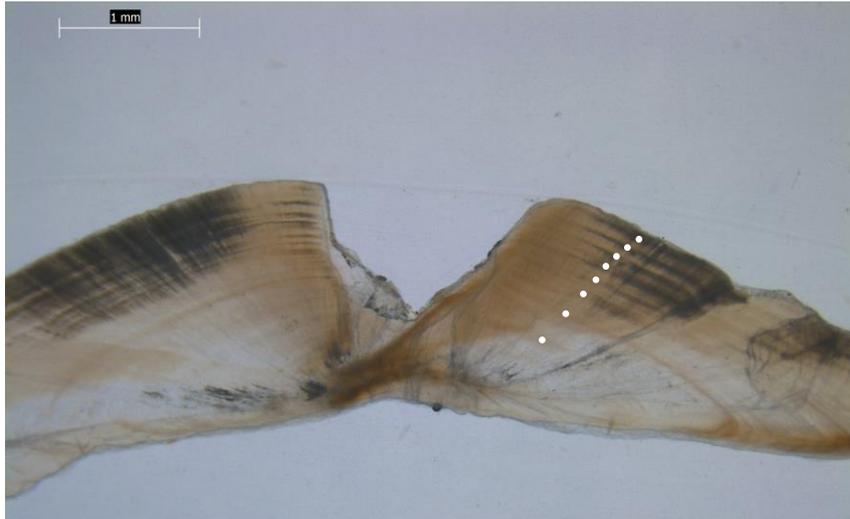


Figura 02. Secção transversal de otólito de *Lutjanus jocu* com 8 anos de idade, mostrando o padrão de bandas opacas e translúcidas.

Para a modelagem do crescimento foi utilizada a equação de VON BERTLANFY (1938):

$$L_{(t)} = L_{\infty} [1 - e^{-K(t-t_0)}]$$

onde  $L_{(t)}$  corresponde ao comprimento na idade  $t$ ,  $L_{\infty}$  ao comprimento máximo teórico,  $K$  ao coeficiente de crescimento e  $t_0$  à idade teórica no comprimento zero. O modelo foi estimado utilizando software R (version 3.6.0), e os resultados comparados com outros estudos através do teste  $t$  de Student ( $\alpha=0,01$ ).

As relações entre comprimento furcal (cm), total (cm) e peso eviscerado (g) foram também estimadas, assim como relações entre o peso do otólito e o comprimento do peixe, peso eviscerado e idade. Uma regressão linear simples foi utilizada para estimativa da relação entre os comprimentos total e furcal. As relações entre peso e comprimento foram calculadas de acordo com a equação  $PE_{(i)} = q * CF_{(i)}^b$ , onde  $PE_{(i)}$  = peso eviscerado do peixe (i),  $CF_{(i)}$  = comprimento furcal do peixe (i), e  $q$  e  $b$  são parâmetros (Sparre & Venema, 1998).

## 4.4 Resultados

### 4.4.1 Pesca

No total 1069 desembarques pesqueiros foram monitorados na ilha de Fernando de Noronha pelo monitoramento pesqueiro desenvolvido pelo ICMBio (abril/2013 - março/2015). Destes desembarques, 180 registraram a captura de *Lutjanus jocu*, correspondendo a 16,8%. Cinquenta embarcações pesqueiras foram amostradas na ilha durante o período monitorado, das

quais 24 participaram ativamente da pescaria da espécie (48%). A captura média do *L. jocu* foi de 2,10kg por viagem de pesca, quando considerados todos os desembarques amostrados (n=1069), e 12,62kg se considerados apenas desembarques com captura da espécie (n=180).

As pescarias que capturaram o *L. jocu* tiveram duração média de um dia ou uma noite de pesca, sendo preferencialmente realizadas durante o dia (74% diurnas e 26% noturnas). Sua captura se dá em sítios de pesca no entorno da ilha, em profundidades entre 53 e 70m aproximadamente, por meio da pesca de linha de mão. Quatorze pescadores registraram capturas da espécie, caracterizados por feições de fundo definidas como “cabeços” ou “paredes” (Tabela 01). Nos desembarques onde esteve presente, o *Lutjanus jocu* foi responsável por de 1 a 99% da captura total na viagem de pesca, capturado de forma oportuna, ou como espécie alvo da pescaria.

Tabela 01. CPUE mínima, máxima e média para *Lutjanus jocu* (kg/pescador.dia) nos sítios de pesca (pescadores) que registraram captura da espécie.

Pescador	CPUE Min.	CPUE Máx.	CPUE Média	N pescarias
Banco Drina	1.17	10.00	3.90	16
Capim açu	1.00	11.67	2.43	6
Casa branca	3.00	16.00	9.50	2
Cabeço dois irmãos	1.00	3.33	2.28	3
Espinhaço cavalo	3.00	3.00	3.00	1
Meio da ilha	0.50	10.00	6.13	10
Parede da Sapata	0.83	11.67	2.68	12
Parede do grego	1.00	10.00	5.67	4
parede/mar de dentro	1.33	2.50	1.92	2
parede/mar de fora	0.33	140.00	7.09	39
Paredes	0.67	6.00	4.42	6
Pico com Frade	1.00	46.00	4.40	34
Pontal do norte	2.00	12.50	7.65	8
Quebra corda	0.67	10.00	3.17	27

A captura por unidade de esforço (CPUE) para *L. jocu* foi calculada para 174 desembarques que dispunham das informações necessárias (dos 180 com captura da espécie). A CPUE média encontrada foi de 0,87kg/pescador.dia, quando considerados todos os desembarques amostrados, e 5,25kg/pescador.dia considerando apenas desembarques com captura da espécie. A espécie esteve presente em desembarques em todos os meses do ano, com maiores CPUE nos períodos de março a abril e de outubro a dezembro (Figuras 03 e 04).

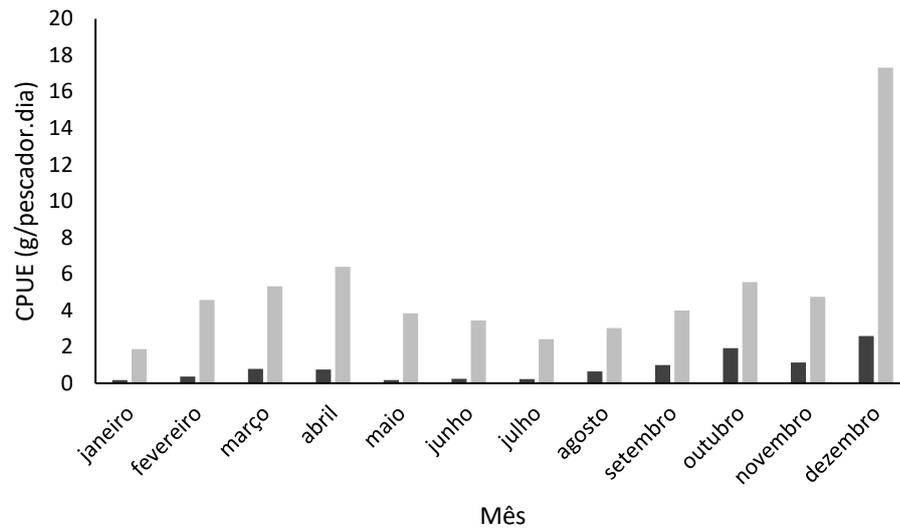


Figura 03. CPUE média mensal para *Lutjanus jocu* (kg/pescador.dia) em Fernando de Noronha. Em preto valores de CPUE média considerando todos os desembarques amostrados (n=1069) e em cinza CPUE média considerando apenas desembarques com captura da espécie (n=174).

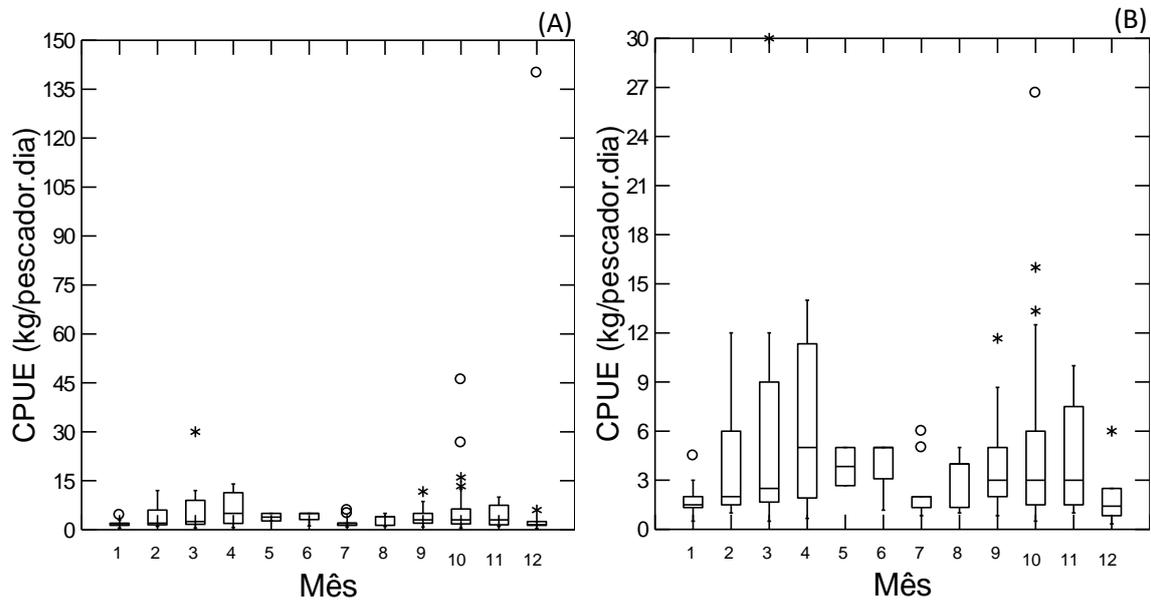


Figura 04. (A) Boxplot com distribuição da CPUE individual dos desembarques com captura da espécie (n=174). (B) Zoom do gráfico (A) até 30 kg/pescador.dia.

#### 4.4.2 Idade e crescimento

No total, 124 indivíduos tiveram suas idades estimadas no presente estudo. Não foi observada diferença significativa na distribuição de comprimento entre o total de exemplares

amostrados nos desembarques e aqueles que tiveram suas idades estimadas (Kruskal-Wallis  $p>0,05$ ). (Figura 5)

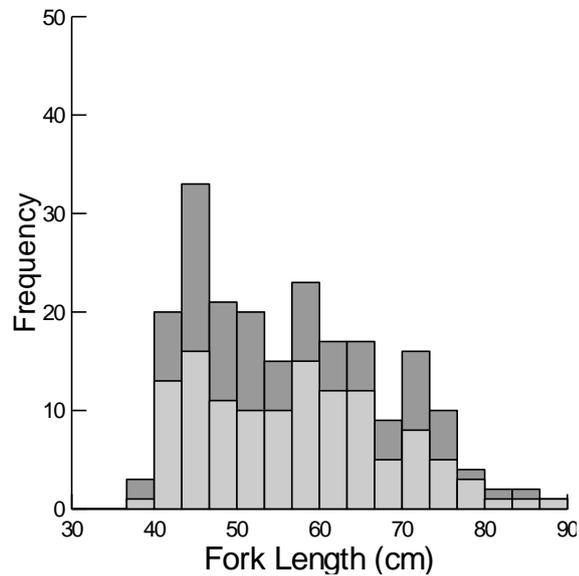


Figura 05. Distribuição de comprimento dos indivíduos de *Lutjanus jocu* amostrados nos desembarques pesqueiros em Fernando de Noronha. Amostragem total em cinza escuro (n=214) e indivíduos que tiveram as idades estimadas a partir dos otólitos coletados em cinza claro (n=124).

Em todo o período de amostragem biológica (jul/2016-ago/2017) foram observados indivíduos de 39,0 a 86,9cm de comprimento furcal, com idades variando entre 4 e 27 anos (Tabela 02). Sessenta e cinco por cento dos indivíduos analisados apresentaram idades entre 6 e 13 anos, e apenas 8 foram maiores que 20 anos. As leituras apresentaram *index of average percent error* (IAPE) de 7,65% entre a leitura dos dois laboratórios.

Tabela 02. Chave idade-comprimento para exemplares *Lutjanus jocu* capturados pela pesca de linha de mão em Fernando de Noronha.

FL (cm)	Age																				Total			
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		25	26	27
0-5																								0
5-10																								0
10-15																								0
15-20																								0
20-25																								0
25-30																								0
35-40			1																					1
40-45			1	11	7	1																		20
45-50	1	2	6	4	4	2		1																20
50-55			3	1	2	4	2	1	1	1														15
55-60					1	2	5	3	2	1			2		2		2							20
60-65					2	3	3	1		1	1	2			1	1	1	1			1	1		19
65-70				1	1	1		2	1	1			2	1										10
70-75						1	1		1	2	1	1		2					1				1	11
75-80							1			1				1					1			1		5
80-85												1												1
85-90																	1		1					2
Total	1	4	20	13	11	13	12	8	5	7	2	4	4	4	3	1	4	1	2	1	1	2	1	124

A relação entre comprimento furcal e peso eviscerado das amostras foi calculada, assim como relações entre comprimentos furcal e total (Tabela 03). A análise do peso do otólito mostrou que ele está diretamente correlacionado com o peso eviscerado ( $R^2 = 0.78$ ) e a idade do peixe ( $R^2 = 0.78$ ), e exponencialmente correlacionado ao comprimento furcal ( $R^2 = 0.84$ ), conforme esperado, evidenciando a tendência de otólitos maiores à medida que o peixe fica maior, mais pesado e mais velho (Figura 06).

Tabela 03. Relações de comprimento (cm) e peso (g) (EW=peso eviscerado do peixe; FL=comprimento furcal; TL=comprimento total).

Variável	Equação	R <sup>2</sup>	n
FL x TL	$FL = 0.9573TL - 0.4198$	0.99	124
TL x FL	$TL = 1.033FL + 1.1017$	0.99	124
EW x TL	$EW = 0.0215 * TL^{2.8645}$	0.93	124
TL x EW	$TL = 4.6646 * EW^{0.3237}$	0.93	124
EW x FL	$EW = 0.0268 * FL^{2.8461}$	0.93	124
FL x EW	$FL = 4.3142 * EW^{0.3271}$	0.93	124

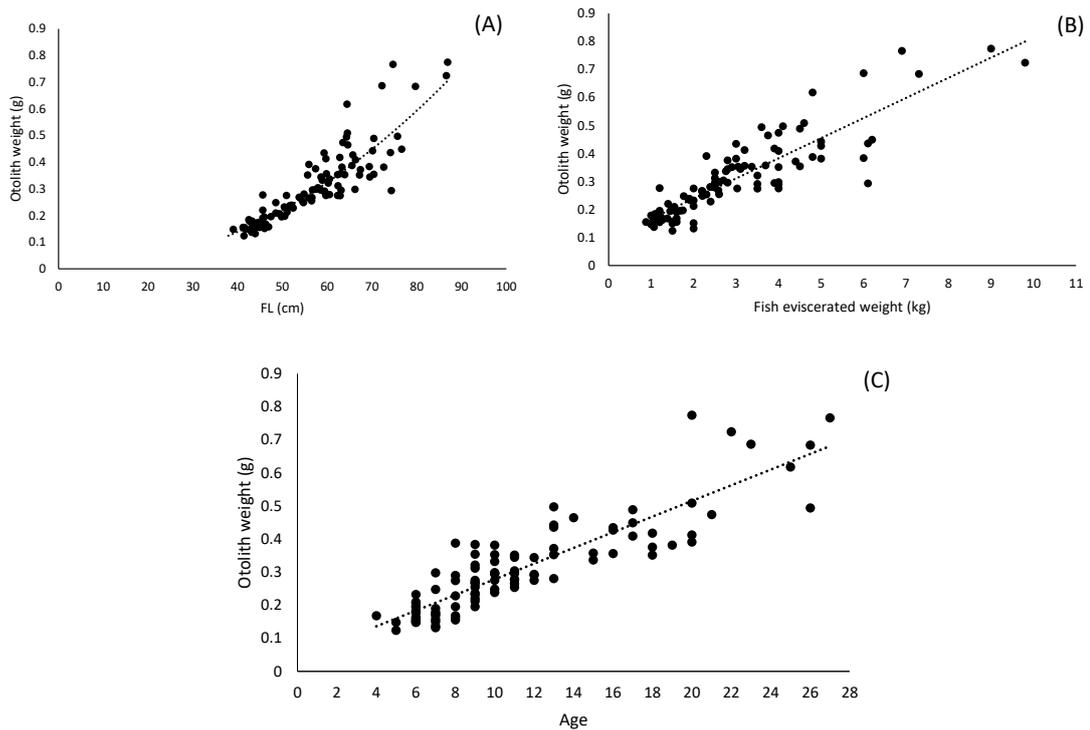


Figura 06. Relação entre peso otólito e comprimento furcal – FL ( $R^2 = 0,84$ ) (A), peso eviscerado ( $R^2 = 0,78$ ) (B), e idade ( $R^2 = 0,78$ ) (C) para *Lutjanus jocu* em Fernando de Noronha.

A curva de crescimento do *L. jocu* em Fernando de Noronha foi calculada, apresentada na Figura 07. A estimativa de tamanho na idade, gerada de acordo com o modelo de Von Bertalanffy, se ajustou bem aos dados e sinalizou um crescimento mais rápido nas idades iniciais, e grande redução na taxa de crescimento quando o peixe atinge cerca de 15 anos. O comprimento máximo assintótico encontrado para a espécie foi de 72,2cm furcal, com erro padrão (SE) de 2,8; a taxa de crescimento teve o valor de 0,16 (SE=0,04) e o  $t_0$  foi igual a -0,37 (SE=1,27).

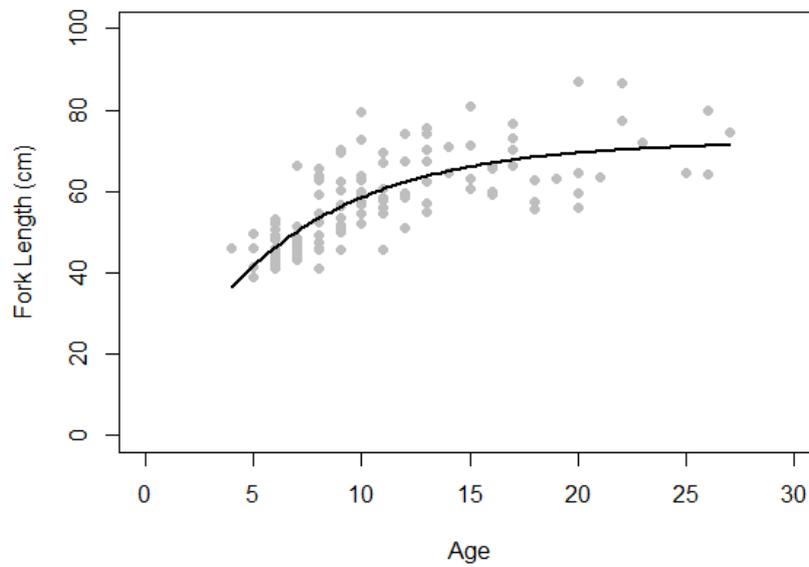


Figura 07. Curva de crescimento para *Lutjanus jocu* capturado em Fernando de Noronha (n=124).

Na Tabela 04 é apresentada uma abordagem comparativa entre os valores encontrados por este e por outros estudos para a espécie, com curvas plotadas na Figura 08. Foi observada diferença significativa entre o  $L_{\infty}$  encontrado no presente estudo e o valor encontrado por Previero et al. (2011), Klippel et al. (2005) e Claro et al. (1999) [ $t_{\text{calculado}} > t_{\text{tabelado}}$ ]. O valor de  $K$  não apresentou diferença significativa entre os estudos;  $t_0$ , por sua vez, foi significativamente diferente entre os valores apresentados no presente estudo e os encontrados por Rezende & Ferreira (2004).

Tabela 04. Comparação dos parâmetros de von Bertalanffy para *Lutjanus jocu* obtidos por diferentes estudos da espécie. Asterisco (\*) representa valores que foram significativamente diferentes dos apresentados no presente estudo (teste t de Student,  $\alpha=0,01$ ).

Study	$L_{\infty}$ (mm)	SE	K	SE	$t_0$	SE	Local
Potts & Burton (2017) – freely estimated	739 FL (783 TL)	75	0.15	0.05	-1.30	1.09	Carolina do Norte a Florida Keys – EUA
Potts & Burton (2017) – bias-corrected ‡	703 FL (746 TL)	78	0.20	0.09	0.32	1.44	
Previero et al. (2011)	878 FL (928 TL)*		0.10		-1.49		Abrolhos – Brasil
Rezende & Ferreira (2004) – freely estimated	772 FL (817 TL)		0.11		-3.73*		Plataforma continental do Nordeste e bancos submarino Sirius – Brasil
Rezende & Ferreira (2004) - retrocalculado	712 FL		0.112		-4.32*		
Rezende (2008)	755 FL	38.4	0.14	0.02	-2.71	0.54	Costa Nordeste (Ceará ao Recôncavo da Bahia - Brasil)
Klippel et al. (2005)	1180 FL*		0.119		-		Costa Central (Recôncavo da Bahia ao Espírito Santo)
Claro et al. (1999) - fêmeas	854 FL (903 TL)*		0.10		-2.00		Cuba
Claro et al. (1999) – machos	964 FL*		0.08		-2.14		
Presente estudo	722 FL	28	0.16	0.04	-0.37	1.27	Fernando de Noronha – Brasil

‡ Sugestão do autor como melhor ajuste

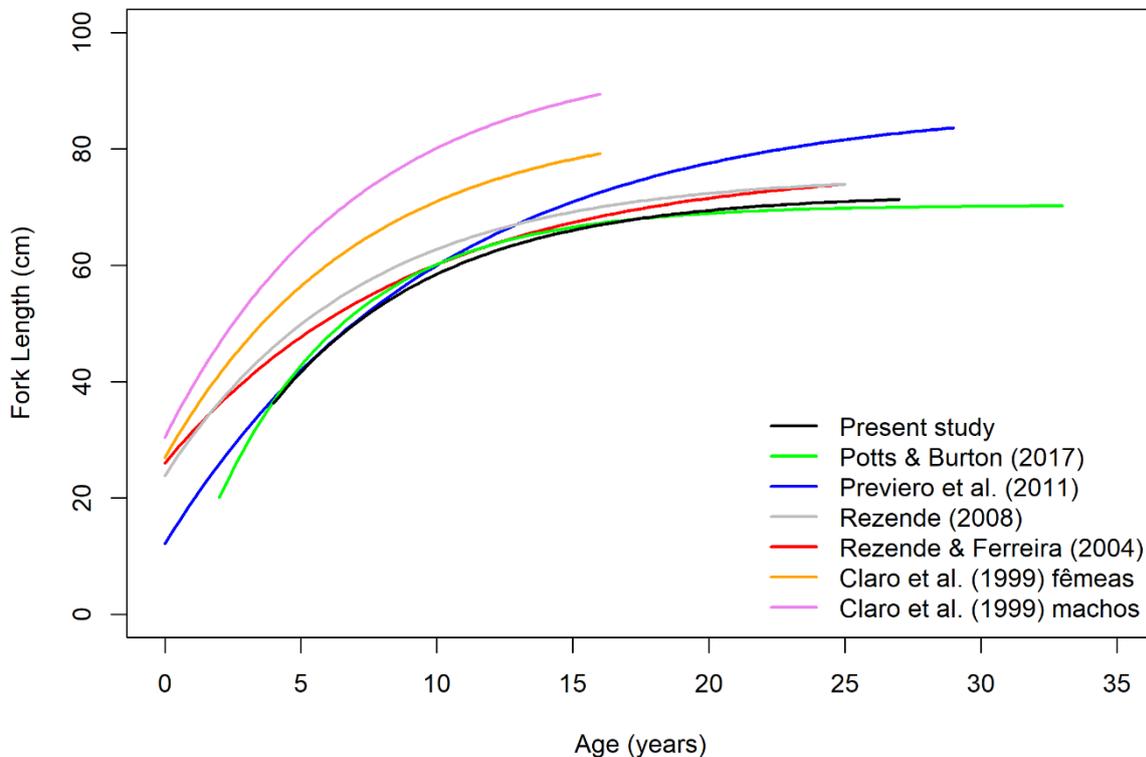


Figura 08. Curvas de crescimento de Von Bertalanfy para *Lutjanus jocu* apresentada por diferentes autores.

## 4.5 Discussão

### 4.5.1 Pesca

A linha de mão tem sido utilizada como a principal arte de pesca para a captura do *Lutjanus jocu* (OLAVO et al., 2005; MARTINS et al., 2006; FREDOU & FERREIRA, 2005). Em Fernando de Noronha foi a única arte a registrar captura da espécie em todo o período monitorado pelo ICMBio (abr/2015 a mar/2016), e durante as amostragens biológicas conduzidas para coleta de otólitos (julho/2016 a agosto/2017). DOMINGUEZ et al. (2016) também observou ser esta a principal arte de pesca utilizada na ilha. A linha de mão possui a vantagem de apresentar baixo impacto ambiental e ser relativamente seletiva quando comparada a outras artes, como espinhel de fundo ou redes de arrasto de fundo, que podem contribuir para degradação do substrato recifal, além da captura de *bycatch* (OLAVO et al., 2005).

Cerca de 50% das embarcações registraram pesca da espécie, presente em diferentes proporções nos desembarques. Quatorze pescadores foram identificados como sítios de pesca

do *L. jocu*, caracterizados por feições de fundo do tipo “cabeço” ou “parede”, termos muitas vezes inseridos na identificação dos sítios, como por exemplo “Cabeço Dois Irmãos” e “Parede da Sapata” (Tabela 01). Os cabeços são estruturas recifais que se elevam sobre o fundo e oferecem abrigo a diversas espécies de peixe (DIEGUES, 2005) e a parede é caracterizada por uma brusca mudança na fisiografia do fundo com um declive acentuado, tipicamente observado na borda da plataforma continental (BEGOSSO et al., 2016), como também se observa na borda plataforma insular de Fernando de Noronha. Tanto as formações dos recifes de borda com os cabeços constituem ambientes propícios à presença de espécies de peixes recifais, como o *Lutjanus jocu* (ALLEN, 1985; CLARO & LINDEMAN, 2008; OLAVO et al., 2011).

A espécie esteve presente nos desembarques ao longo de todo o ano, e sua captura por unidade de esforço (CPUE) variou entre os meses. Os períodos de março a abril e outubro a dezembro apresentaram as maiores médias mensais de CPUE para o *L. jocu*, enquanto que no inverno (junho a agosto) foram observados os menores valores. Esta distribuição pode estar relacionada ao período de safra da Albacora (*Thunnus alalunga* e *Thunnus* sp.), cujo pico de CPUE se dá no inverno (MACEDO, E.C., dados não publicados), coincidindo com o período de menor CPUE do dentão. No presente estudo não foi possível verificar quantas horas durante a viagem de pesca foi dedicada à captura de cada espécie, no entanto, considerando que na mesma viagem o pescador se dedica a mais de uma espécie, é possível que mais tempo seja voltado a um recurso do que a outro, especialmente em períodos de safra, contribuindo para variações na CPUE ao longo do ano.

A CPUE média para *Lutjanus jocu* em todo o período foi de 5,25 kg/pescador.dia, considerando os desembarques com captura da espécie (n=174). FRANÇA et al. (2021), analisando a CPUE de desembarques com captura do *Lutjanus jocu* pela linha de mão observaram uma média de 3,20 kg/pescador.dia no estado da Bahia (referente ao período de 2005 a 2013) e 0,57 kg/pescador.dia no estado de Pernambuco (2009 a 2014). Os valores encontrados em Fernando de Noronha são maiores que o da Bahia (1,6 vezes) e muito maiores que os da área continental de Pernambuco (9,2 vezes). Esta diferença pode estar relacionada ao estado do recurso e incidência da pesca na região. Grande parte do arquipélago, até a isóbata de 50m, é protegido por uma unidade de conservação federal de proteção integral, o Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha (Figura 01), onde a pesca é proibida desde 1988, quando foi instituída a unidade (BRASIL, 1998; IBAMA, 1990). A parte externa ao PARNAMAR Noronha é também protegida pela Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha – APA Noronha (Figura 01), que tem como objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais, e onde a pesca artesanal

é permitida (BRASIL, 2000; ICMBio, 2017). A presença destas unidades pode estar diretamente relacionada aos maiores valores de CPUE observados na ilha, à medida que proíbe o uso de artes de pesca mais predatórias comumente utilizadas na plataforma continental (como o espinhel) e apresenta zonas de exclusão de pesca, contribuindo para a renovação e manutenção do recurso. A presença de indivíduos de *L. jocu* é comumente observada no interior do Parque Nacional (FERREIRA, B.P., comunicação pessoal), onde a pesca é proibida, levantando a hipótese de que o Parque pode representar um refúgio para a espécie e até vir a contribuir com a pesca artesanal através do *spillover* de indivíduos para a zona onde a pesca é permitida, fenômeno observado em outras regiões do mundo onde áreas fechadas são utilizadas para conservação de espécies recifais (ROBERTS et al., 2001; MAYPA et al., 2002).

Outro fator que pode cooperar para os valores de CPUE observada na ilha é o tamanho da frota. Das 50 embarcações monitoradas, apenas 24 registraram em algum momento captura da espécie, muitas vezes representando apenas um baixo percentual do total capturado. Apesar do *L. jocu* ser uma espécie importante para a pesca na região, espécies pelágicas costumam ser o principal alvo das pescarias (DOMINGUEZ et al., 2016), o que pode contribuir para reduzida exploração deste recurso.

#### 4.5.2 Idade e crescimento

A família Lutjanidae é caracterizada por apresentar indivíduos com baixa mortalidade natural, crescimento lento, e moderada a alta longevidade (ALLEN, 1985; NEWMAN, 2000; WILSON & NIELAND, 2001; KLIPEL et al. 2005; CLARO & LINDEMAN, 2008). Estudos de idade e crescimento de *Lutjanus jocu* têm utilizado predominantemente o otólito como a estrutura para verificação da idade individual, reportando que a análise da secção transversal mostra-se mais eficiente e precisa para leitura da idade quando comparada à análise do otólito inteiro (REZENDE & FERREIRA, 2004; PREVIERO et al., 2011). Com base em trabalhos já publicados para a espécie, foi considerado no presente estudo a formação anual dos anéis de crescimento (CLARO et al., 1999; REZENDE & FERREIRA, 2004; PREVIERO et al., 2011; POTTS & BURTON, 2017).

A partir da análise de secções transversais de otólitos de *L. jocu* coletados em Fernando de Noronha, foram identificados exemplares que variavam de 4 a 27 anos de idade. Idades máximas similares foram observadas por PREVIERO et al. (2011) e REZENDE & FERREIRA (2004), que registraram exemplares de até 29 e 25 anos respectivamente. POTTS & BURTON (2017) encontraram indivíduos de até 33 anos, ressaltando a alta longevidade apresentada pela espécie, o que também se observa com outras espécies do gênero, como *Lutjanus analis*, que

vive até 40 anos, *Lutjanus campechanus*, até 52 anos e *Lutjanus cyanopterus* vivendo até 55 anos (WILSON & NIELAND, 2001; BURTON, 2002; BURTON & POTTS, 2017).

A presença de indivíduos de 4 e 5 anos nas classes de comprimento furcal de 35 a 50cm sinaliza um rápido crescimento inicial, tornando-se mais lento gradativamente à medida que o peixe atinge idades mais elevadas. Este padrão de curva de crescimento também foi observado para outros Lutjanídeos e Acanthurídeos por CHOAT & ROBERTSON (2002), que a descrevem como curva de crescimento “quadrada”, devido ao aspecto resultante do rápido crescimento nos primeiros anos de vida, com forte redução após a maturidade sexual. A taxa de crescimento observada de  $K=0,16$  ( $SE=0,04$ ) e o  $t_0$  de  $-0,37$  ( $SE=1,27$ ) representou valor intermediário ao encontrado por outros estudos para a espécie (Tabela 03), distanciando-se mais, entretanto, dos valores apresentados por REZENDE & FERREIRA (2004), dos quais foi significativamente diferente. O  $L_\infty$  também apresentou valores diferenciados, no entanto por sua vez próximo aos encontrados por REZENDE & FERREIRA (2004), REZENDE (2008) e POTTS & BURTON (2017), enquanto que em Abrolhos, em Cuba e na Costa Central do Brasil os valores de crescimento assintótico apresentaram-se significativamente maiores (Tabela 04). Vale ressaltar que nos estudos desenvolvidos na Costa Central para a espécie o  $L_\infty$  foi obtido a partir da relação de Froese e Binohlan (2000) com o comprimento máximo observado na população ( $L_{max}$ ) (Klippel et al, 2005), enquanto que nos demais estudos a estimativa deste parâmetro esteve relacionada à idade. Esta abordagem metodológica pode ter contribuído para que a Costa Central apresentasse o maior valor  $L_\infty$ . Os parâmetros de crescimento podem variar, além da esperada variação interespecífica, também intraespecificamente de estoque para estoque, apresentando diferentes valores em diferentes partes de sua distribuição (SPARRE & VENEMA, 1997).

O menor indivíduo amostrado no presente estudo apresentou 39 cm de comprimento furcal, tamanho a partir do qual as capturas tornaram-se abundantes (Figura 05). A pesca de linha de mão, arte utilizada para captura da espécie na ilha, está sujeita à seletividade exercida por elementos como tamanho do anzol e área de atuação da frota, influenciando no comprimento dos indivíduos capturados (OLAVO et al. 2005). A utilização da frota comercial para amostragem em estudos de idade e crescimento, apesar de recomendada devido ao baixo custo e facilidade de obtenção das amostras, pode potencialmente inserir um viés, considerando que as amostras são selecionadas pelas áreas de pesca, profundidade e instrumentos de captura (SPARRE & VENEMA, 1997). Durante todo período de amostragem biológica, não foi possível a obtenção de indivíduos menores de 39cm. Indivíduos jovens e pequenos são vistos

na ilha em atividades de mergulho, no entanto não são explorados por nenhum aparelho de pesca empregado na região.

A curva obtida no presente estudo apresenta um bom ajuste e parâmetros acurados, representando o comprimento na idade para a espécie no arquipélago oceânico de Fernando de Noronha. Uma busca ativa por espécimes menores na região da APA, onde sua captura é permitida, por meio de mergulhos ou armadilhas, por exemplo, poderia contribuir para uma estimativa mais ampla, incluindo os menores comprimentos na análise. Os resultados encontrados nesse estudo fornecem informações que contribuem para melhor compreensão da biologia populacional do *Lutjanus jocu* e sua pesca em Fernando de Noronha, e que poderão ser utilizadas como subsídio para a gestão pesqueira local e manejo deste importante recurso para a ilha.

## Referências

- ALLEN, G.R. 1985. FAO species catalogue 6. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanidae species know to date. *FAO fish. Synop.* 6 (125) p.
- ALMEIDA, F.F.M. 2006. *Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica*. Terrae didactica 2(1): 3-18
- BEAMISH, R.J. & FOURNIER, D.A. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38:982–983 DOI 10.1139/f81-132.
- BEGOSSI, A.; SALIVONCHYK, S.; LOPES, P.F.M.; SILVANO, R.A.M. 2016. Fishers' knowledge on the coast of Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 12:20. DOI 10.1186/s13002-016-0091-1
- BIGGS, C.R. & NEMETH, R.S. 2016. Spatial and temporal movement patterns of two snapper species at a multi-species spawning aggregation. *Marine ecology progress series*. Vol 558:129-142.
- BRASIL. 1998. Decreto Nº 96.693 de 14 de setembro de 1988 - Cria o Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha e dá outras providências. *Diário Oficial da União* - Seção 1 - 15/9/1988, Página 17698.
- BRASIL. 2000. Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000 - Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, *Diário Oficial da União* de 19.7.2000
- BURTON, M.L. 2002. Age, growth, and mortality of mutton snapper, *Lutjanus analis*, from the east coast of Florida, with a brief discussion of management implications. *Fisheries Research* 59:31–41 DOI 10.1016/S0165-7836(02)00007-3.

BURTON, M. L. & POTTS, J. C. 2017. Age, Growth, & Natural Mortality of Cubera Snapper, *Lutjanus cyanopterus*, from the Southeastern United States. *Bulletin of Marine Science* 93 (3): 815–28.

CAMPANA, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59:197–242 DOI 10.1111/j.1095-8649.2001.tb00127.x.

CARTER J., PERRINE D. 1994. A spawning aggregation of dog snapper *Lutjanus jocu* (Pisces: Lutjanidae) in Belize, Central America. Coral Reef Paper. *Bulletin of Marine Science*, 55 (1): 228-234.

CERVIGÓN, F. 1993. *Los Peces Marinos de Venezuela*. Fundación Científica Los Roques, Caracas, Venezuela, vol. 2. 498 p.

CHOAT, J.; ROBERTSON, D. R. 2002. Age-based studies. In: SALE, P. (ed) *Coral Reef Fishes: Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. Academic Press: San Diego, 57–80

CLARO, R., SIERRA, L.M., GARCIA-ARTEAGA, J.P. 1999. Biología del jocu, *Lutjanus jocu* (Pisces: Lutjanidae) en las NE y SW de la plataforma Cubana. II. Alimentación, edad y crecimiento. *Revista de Investigaciones Marinas* 20:45–53.

CLARO, R. & LINDEMAN, K. C. 2008. *Biología y Manejo de los Pargos (Lutjanidae) en el Atlántico Occidental*. La Habana: Instituto de Oceanología. 472 p.

COSTA, P. A. S., OLAVO, G. & MARTINS, A. S. 2005. Áreas de pesca e rendimentos da frota de linheiros na região central da costa brasileira entre Salvador-BA e o Cabo de São Tomé-RJ. In: COSTA, P. A. S., MARTINS, A. S. & OLAVO, G. (Eds). *Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira* (pp. 57-70), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.

DIEGUES, A.C. 2005. Traditional sea tenure and coastal fisheries resources management in Brazil. In: DIEGUES, A.C. (ed) *Maritime Anthropology in Brazil*. NUPAUB – Center for Research on Human Population and Wetlands in Brazil. University of São Paulo. 122p

DOMINGUEZ P.S., ZEINEDDINE G.C., ROTUNDO M.M., BARRELLA W., RAMIRES M., 2016. A pesca artesanal no Arquipélago de Fernando de Noronha (PE). *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, 42 (1): 241-251.

FRANÇA, A.R.; OLAVO, G.; REZENDE, S.M.; FERREIRA, B.P. 2021. Spatio-temporal distribution of mutton and dog snappers spawning aggregations in the Southwest Atlantic. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 31:1596–1610. DOI: 10.1002/aqc.3536

FRÉDOU, T. & FERREIRA, B.P. 2005. Bathymetric Trends of Northeastern Brazilian Snappers (Pisces, Lutjanidae): Implications for the Reef Fishery Dynamic. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48 (5): 787–800.

FRÉDOU, T., FERREIRA, B.P., LETOURNEUR, Y. 2009. Assessing the stocks of the primary snapper caught in northeastern Brazilian reefs systems: Tradicional modeling approaches. *Fisheries Research*. 99 (2009) 90-96.

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

IBAMA, 1990. *Plano de Manejo do Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha*. Fundação Pró-Natureza – FUNATURA. Brasília, 256p.

ICMBio. 2017. *Plano de Manejo. Área de Preservação Ambiental de Fernando de Noronha – Rocas - São Pedro e São Paulo*.

ICMBio. 2018. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume I*. 1 ed. Brasília, DF: MMA, 492 p.

LINDEMAN, K., ANDERSON, W., CARPENTER, K.E., CLARO, R., COWAN, J., PADOVANI-FERREIRA, B., ROCHA, L.A., SEDBERRY, G. & ZAPP-SLUIS, M. 2016. *Lutjanus cyanopterus*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2016*: e.T12417A506633. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T12417A506633.en>.

IUCN. 2020. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2020-3. <https://www.iucnredlist.org>

KLIPPEL, S., OLAVO, G., COSTA, P. A. S., MARTINS, A. S. & PERES, M. B. 2005. Avaliação dos estoques de Lutjanídeos da Costa Central do Brasil: análise de coortes e modelo preditivo de Thompson e Bell para comprimentos. In: Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Olavo, G. (eds). *Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira* (pp. 83-98), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.

LESSA, R. P. 2006. Recursos Pesqueiros da Região Nordeste In: MMA, Secretaria de Qualidade Ambiental (org.). *Programa REVIZEE: avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva - Relatório Executivo*. Brasília: MMA, p. 159-189.

LOPES P.F.M., MENDES L., FONSECA V. & VILLASANTE S. 2017. Tourism as a driver of conflicts and changes in fisheries value chains in Marine Protected Areas. *Journal of Environmental Management* 200:123-134.

MAYPA, A.P., RUSS, G.R., ALCALA, A.C. & CALUMPONG, H.P. 2002. Long-term trends in yield and catch rates of the coral reef fishery at Apo Island, central Philippines. *Mar. Freshwater Res.*, v. 53, p. 207-213,

MARTINS, A.S., COSTA, P.A.S., OLAVO, G. & HAIMOVICI, M. 2006. Recursos Pesqueiros da Região Central In: MMA, Secretaria de Qualidade Ambiental (org.). *Programa REVIZEE: avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva - Relatório Executivo*. Brasília: MMA, p. 181-206.

- MOHR, L.V., CASTRO, J.W.A., COSTA, P.M.S. & ALVES, R.J.V. 2009. *Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo*. Vol. II, MMA Secretaria de Biodiversidade e Floresta, Brasília, Brasil, 496p.
- NEWMAN, S.J., CAPPO, M. & WILLIAMS, D.M. 2000. Age, growth, mortality rates and corresponding yield estimates using otoliths of the tropical red snappers, *Lutjanus erythropterus*, *L. malabaricus* and *L. sebae*, from the central Great Barrier Reef. *Fisheries Research*, 48(1), pp.1-14.
- OLAVO, G., COSTA, P. A. S. & MARTINS, A. S. 2005. Caracterização da pesca de Linha e dinâmica das frotas linheiras da Bahia, Brasil. In Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Olavo, G. (Eds). *Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira* (pp. 13-34), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.
- OLAVO, G., COSTA, P. A. S., MARTINS, A. S. & FERREIRA, B. P. 2011. Shelf-edge reefs as priority areas for conservation of reef fish diversity in the tropical Atlantic. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21, 199-209.
- PREVIERO, M.C., MINTE-MERA, V., FREITAS, M.O., de MOURA, R.L., TOS, C.D. 2011. Age and growth of the dog snapper *Lutjanus jocu* (Bloch and Schneider 1801) in Abrolhos Bank, Northeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology* 9:393–401. DOI 10.1590/S1679-62252011005000024
- POTTS, J.C. & BURTON, M.L. 2017. Preliminary observations on the age and growth of dog snapper (*Lutjanus jocu*) and mahogany snapper (*Lutjanus mahogoni*) from the Southeastern U.S. *PeerJ* 5:e3167; DOI 10.7717/peerj.3167
- ROBERTS C. M., BOHNSACK, J. A., GELL, F., HAWKINS, J. P., & GOODRIDGE, R. (2001). Effects of marine reserves on adjacent fisheries. *Science* 294, 1920–3
- RESENDE, S.M. & FERREIRA B.P., 2004. Age, growth and mortality of dog snapper *Lutjanus jocu* (Bloch & Schneider, 1801) in the northeast coast of Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 52(2):107-121.
- SADOVY de MITCHESON, Y., CORNISH, A., DOMEIER, M., COLIN, P.L., RUSSELL, M. & LINDEMAN, K.C. 2008. A global baseline for spawning aggregations of reef fishes. *Conserv. Biol.*, 22: 1233-1244.
- SCHMID, K., SILVA, F. R. M. da, SANTOS, B. J. V. dos, BEZERRA, N. P. A., GARLA, R. C. & GIARRIZZO, T. 2020. First fish fauna assessment in the Fernando de Noronha Archipelago with BRUVS: Species catalog with underwater imagery. *Biota Neotropica*, 20(4), e20201014. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2020-1014>
- SECOR, D. H., DEAN, J. M. & LABAN, E. H. 1991. *Manual for otolith removal and preparation for microstructure examination*. Baruch Institute Technical Report 91-1. Belle W. Baruch Institute, University of South Carolina and Electric Power Research Institute.

- SILVEIRA, I. C. A., SCHMIDT, A. C. K., CAMPOS, E. J. D., GODOI, S. S., & IKEDA, Y. 2000. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Brazilian Journal of Oceanography*, 48(2): 171–183.
- SPARRE, P. & VENEMA, S.C. 1997. Introdução à avaliação de mananciais de peixes tropicais. Roma: FAO. Documento tecnico sobre as pescas. (306/1).
- UNESCO. 2001. Brazilian Atlantic Islands: Fernando de Noronha and Atol das Rocas Reserves. *Fernando de Noronha archipelago/ Rocas Atoll tropical insular complex Nomination for Inclusion as an UNESCO World Heritage Natural Site*. <https://whc.unesco.org/uploads/nominations/1000rev.pdf>
- VACCHI, M., PSOMADAKIS, P. N., REPETTO, N. & WÜRTZ, M. 2010. First Record of the Dog Snapper *Lutjanus jocu* in the Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology*, 76, 723-28.
- VON BERTALANFFY, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology* 10:181–243.
- WILSON, C.A. & NIELAND, D.L. 2001. Age and growth of red snapper, *Lutjanus campechanus*, from the northern Gulf of Mexico off Louisiana. *Fishery Bulletin*, 99(4):653-664.
- WIRTZ, P., BINGEMAN, J., BINGEMAN, J., FRICKE, R., HOOK, T., & YOUNG, J. 2017. The fishes of Ascension Island, central Atlantic Ocean – new records and an annotated checklist. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97(4), 783-798. doi:10.1017/S0025315414001301

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na tese trazem novas informações sobre aspectos reprodutivos e estrutura populacional de espécies de peixe recifais que caracterizam importantes recursos para a pesca artesanal no Brasil.

A identificação espacial e temporal de agregações reprodutivas do *Lutjanus analis* e *Lutjanus jocu* na costa dos estados de Pernambuco, Alagoas e Bahia poderá servir como subsídio para a gestão da pesca destas espécies. Pernambuco e Alagoas já demonstram sinais de que as agregações de desova podem estar sofrendo com a pesca desenfreada, há muito realizada na região onde as espécies agregam. Alguns sítios foram identificados próximos a uma importante unidade de conservação de uso sustentável, a APA Costa dos Corais. Ajustes em seus limites incluindo os sítios de desova poderão servir como uma base legal para a implementação de medidas de manejo visando a manutenção das espécies e sustentabilidade da pesca. Estudos complementares são sugeridos para investigar aspectos mais específicos das agregações reprodutivas, como correlação com fase lunar, que poderão também contribuir ao manejo.

O *L. jocu*, por ser o único Lutjanídeo de águas rasas a ocorrer e ser explorado pela pesca artesanal em montes submarinos e ilha oceânica do Nordeste, foi a espécie alvo dos estudos de estrutura populacional e conectividade. Amostras obtidas em um gradiente latitudinal na costa Nordeste e em sítios oceânicos (montes submarinos e Fernando de Noronha) apresentaram assinaturas químicas diferenciadas. Isótopos estáveis de  $\delta^{18}\text{O}$  sinalizaram segregação entre os estoques oceânicos e costeiros da espécie e os elementos traço permitiram maior detalhamento no uso de berçários com diferentes assinaturas ao longo da costa. Os resultados encontrados estão de acordo com o padrão de correntes da região, acrescentando-se a isso particularidades específicas de cada sítio. A partir destes resultados é possível identificar que existe segregação entre os estoques da espécie na área de estudo, que deve ser considerado quando da gestão da pesca na região.

Parâmetros de idade e crescimento foram também caracterizados para o *L. jocu* em Fernando de Noronha. Os resultados mostram um crescimento rápido nas idades iniciais, seguido de uma redução após a maturação sexual. A taxa de crescimento, o  $t_0$  e o comprimento assintótico encontrados foram compatíveis com outros estudos de idade e crescimento para a espécie em regiões continentais.

Ainda em Fernando de Noronha foi também caracterizada a pesca do *L. jocu*, desenvolvida pela frota artesanal linheira insular. A espécie é capturada durante todo o ano,

com maiores capturas por unidade de esforço (CPUE) no verão e redução no período da safra da albacora, quando aparentemente os esforços são direcionados a este recurso. As CPUE encontradas para a espécie na ilha mostraram-se muito maiores que as observadas no primeiro capítulo para a espécie em Pernambuco/Alagoas e Bahia. O isolamento da ilha, tamanho restrito da frota, e unidades de conservação presentes (APA Noronha, de uso sustentável, e Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha, de proteção integral), além do fato da espécie não ser o principal recurso pesqueiro da ilha podem estar contribuindo para uma maior CPUE local.

Vale ressaltar, no entanto, a fragilidade do estoque oceânico, principalmente da pesca em Fernando de Noronha, uma vez que o movimento da corrente que passa pelo arquipélago favorece a dispersão larval de indivíduos da ilha para os montes e até plataforma continental, mas não permite que novos recrutas cheguem à ilha. Um aumento na intensidade da pesca na ilha poderia comprometer a renovação do estoque. Esta é uma importante questão a ser considerada pela gestão para manutenção da pesca sustentável na região oceânica de distribuição da espécie. Destaca-se também que as baixas CPUE observadas em Pernambuco/Alagoas apontam para um comprometimento dos estoques, reiterando a urgência da implementação de medidas de conservação, que poderão ser direcionadas às agregações reprodutivas.

As informações obtidas no presente estudo poderão assim contribuir para gestão destes recursos, visando a conservação das espécies e sustentabilidade da pesca.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C.Q.; MIEKELEY, N.; MUELBERT, J.H. 2010. Whitemouth croaker, *Micropogonias furnieri*, trapped in a freshwater coastal lagoon: a natural comparison of freshwater and marine influences on otolith chemistry. *Neotrop. ichthyol.*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 311-320.
- ALLEN, G.R. 1985. FAO species catalogue 6. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanidae species know to date. *FAO fish. Synop.* 6 (125) p.
- ASCHENBRENNER A., FERREIRA B.P., ROOKER J.R. 2016. Spatial and temporal variability in the otolith chemistry of the Brazilian snapper *Lutjanus alexandrei* from estuarine and coastal environments. *J Fish Biol.* 89(1):753-69.
- AVIGLIANO, E. & VOLPEDO, A.V. 2015. Microquímica de otólitos: conceitos, métodos e aplicações in Volpedo, A.V.; Vaz-dos-Santos, A.M. *Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones/ Métodos de estudos com otólitos: princípios e aplicações*. 1ª ed. edición bilingue. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- BEETS, J. & FRIEDLANDER, A. 1998. Evaluation of a conservation strategy: a spawning aggregation closure for red hind, *Epinephelus guttatus*, in the U.S. Virgin Islands. *Environmental Biology of Fishes* 55, 91-98
- BIGGS, C. R. & NEMETH, R. S. 2016. Spatial and temporal movement patterns of two snapper species at a multi-species spawning aggregation. *Marine Ecology Progress Series*, 558, 129-142.
- BURTON, M. L., BRENNAN K. J., MUÑOZ, R. C. & PARKER JR, R. O. 2005. Preliminary evidence of increased spawning aggregations of mutton snapper (*Lutjanus analis*) at Riley's Hump two years after establishment of the Tortugas South Ecological Reserve. *Fishery Bulletin* 103(2), 404-10.
- CAMPANA, S.E., FOWLER A.J., JONES, C.M. 1994. Otolith elemental fingerprinting for stock identification of Atlantic cod (*Godus morhua*) using laser ablation ICPMS. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52, 1942-1950.
- CAMPANA, S.E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar Ecol Prog Ser* 188: 263–297
- CARPENTER, K.E. (ed.). 2002. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes part 2 (Opisthognathidae to Molidae), sea turtles and marine mammals. *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5*. Rome, FAO. pp. 1375-2127
- CARTER, J. & PERRINE, D. 1994. A spawning aggregation of dog snapper *Lutjanus jocu* (Pisces: Lutjanidae) in Belize, Central America. *Bulletin of Marine Science*, 55, 228-234.

- CASTRO-PÉREZ, J.M., ARIAS-GONZÁLEZ, J.E., ACOSTA-GONZÁLEZ, G. & DEFEO, O. 2018. Comparison of catch, CPUE and length distribution of spawning aggregations of mutton snapper (*Lutjanus analis*) and grey triggerfish (*Balistes capriscus*) on a Mesoamerican coral reef. *Latin american journal of aquatic research*, 46(4), pp.717-726.
- CHOLLETT, I., PRIEST, M., FULTON, S. & HEYMAN, W. D. 2020. Should we protect extirpated fish spawning aggregation sites?. *Biological Conservation*, 241, 108395.
- CLARO, R. & LINDEMAN, K. C. 2003. Spawning aggregation sites of snapper and grouper species (Lutjanidae and Serranidae) on the insular shelf of Cuba. *Gulf and Caribbean Research*, 14(2), 91-106.
- CLARO, R. & LINDEMAN, K. C. 2008. Biología y Manejo de los Pargos (Lutjanidae) en el Atlántico Occidental. La Habana: Instituto de Oceanología. 472 p.
- CLARO, R., SADOVY DE MITCHESON, Y., LINDEMAN, K. C. & GARCÍA-CAGIDE, A. R. 2009. Historical analysis of Cuban commercial fishing effort and the effects of management interventions on important reef fishes from 1960–2005. *Fisheries Research*, 99, 7–16.
- COLIN, P.L. 2012. Aggregation Spawning: Biological Aspects of the Early Life History in Y. Sadovy de Mitcheson and P.L. Colin (eds.), *Reef Fish Spawning Aggregations: Biology, Research and Management*, Fish & Fisheries Series 35, DOI 10.1007/978-94-007-1980-4\_1
- COSTA, P. A. S., OLAVO, G. & MARTINS, A. S. 2005. Áreas de pesca e rendimentos da frota de linheiros na região central da costa brasileira entre Salvador-BA e o Cabo de São Tomé-RJ. In: COSTA, P. A. S., MARTINS, A. S. & OLAVO, G. (eds). *Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira* (pp. 57-70), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.
- DAROS, F.A., SPACH, H.L., SIAL, A.N. & CORREIA, A.T. 2016. Otolith fingerprints of the coral reef fish *Stegastes fuscus* in southeast Brazil: a useful tool for population and connectivity studies. *Regional Studies in Marine Science*, 3, pp.262-272.
- DOMEIÉR, M. L. & COLIN, P. L. 1997. Tropical reef fish spawning aggregations: defined and reviewed. *Bulletin of Marine Science* 60, 698-726.
- DOMEIÉR, M.L. 2012. Revisiting Spawning Aggregations: Definitions and Challenges in Y. Sadovy de Mitcheson and P.L. Colin (eds.), *Reef Fish Spawning Aggregations: Biology, Research and Management*, Fish & Fisheries Series 35, DOI 10.1007/978-94-007-1980-4\_1
- FARMER, N. A., HEYMAN, W. D., KARNAUSKAS, M., KOBARA, S., SMART, T. I., BALLENGER, J. et al. 2017. Timing and locations of reef fish spawning off the southeastern United States. *PLoS ONE*, 12, e0172968
- FEELEY, M. W., MORLEY, D., ACOSTA, A., BARBERA, P., HUNT, J., SWITZER, T. et al. 2018. Spawning Migration Movements of Mutton Snapper in Tortugas, Florida: Spatial Dynamics within a Marine Reserve Network. *Fisheries Research*, 204, 209-23.

- FRAILE, A.D.I.; ARRIZABALAGA, A.H.; SANTIAGO, A.J.; GOÑI, A. N.; ARREGI, A.I.; MADINABEITIA, B. R. J. S.; WELLS, C.D.; ROOKER, J.R. 2016. Otolith chemistry as an indicator of movements of albacore (*Thunnus alalunga*) in the North Atlantic Ocean. *Marine and Freshwater Research*, Special Issue.
- FRÉDOU, T. & FERREIRA, B.P. 2005. Bathymetric Trends of Northeastern Brazilian Snappers (Pisces, Lutjanidae): Implications for the Reef Fishery Dynamic. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48 (5): 787–800.
- FREITAS, M. O., MOURA, R. L., FRANCINI-FILHO, R. B. & MINTE-VERA, C. V. (2011). Spawning patterns of commercially important reef fish (Lutjanidae and Serranidae) in the tropical western South Atlantic. *Scientia Marina* 75, 135-146.
- FRICKE, R., ESCHMEYER, W. N. & VAN DER LAAN, R. (eds). 2020. Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References. (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>). Electronic version accessed 18 december 2020.
- FROESE, R. & D. PAULY. (eds.). 2019. FishBase. World Wide Web electronic publication. ([www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)), version (12/2019).
- GRANADOS-DIESELDORFF, P., HEYMAN, W. D. & AZUETA, J. 2013. History and co-management of the artisanal mutton snapper (*Lutjanus analis*) spawning aggregation fishery at Gladden Spit, Belize, 1950–2011. *Fisheries Research*, 147, 213-221.
- GREEN, B. S.; MAPSTONE, B. D.; CARLOS, G.; BEGG, G. A. 2009. *Tropical Fish Otoliths: Information for Assessment, Management and Ecology*. Springer.
- GRIMES, C. B. 1987. Reproductive biology of the Lutjanidae: a review. Pages 239-294 In Polovina, J. J. & Ralston, S. (Eds), *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*. USA: Westview Press.
- HEYMAN, W.D., GRAHAM, R.T., KJERFVE, B. AND JOHANNES, R.E., 2001. Whale sharks *Rhincodon typus* aggregate to feed on fish spawn in Belize. *Marine Ecology Progress Series*, 215, pp.275-282.
- HEYMAN, W. D., KJERFVE, B., GRAHAM, R. T., RHODES, K. L. & GARBUTT, L. 2005. Spawning aggregations of *Lutjanus cyanopterus* (Cuvier) on the Belize Barrier Reef over a 6 year period. *Journal of Fish Biology*, 67, 83-101.
- HEYMAN, W. D. & KJERFVE, B. 2008. Characterization of transient multi-species reef fish spawning aggregations at Gladden Spit, Belize. *Bulletin of Marine Science*, 83, 531-551.
- HEYMAN, W.D., GRÜSS, A., BIGGS, C.R., KOBARA, S.I., FARMER, N.A., KARNAUSKAS, M., LOWERRE-BARBIERI, S. AND ERISMAN, B. 2019. Cooperative monitoring, assessment, and management of fish spawning aggregations and associated fisheries in the US Gulf of Mexico. *Marine Policy*, 109, p.103689.

- KADISON, E., NEMETH, R. S., HERZLIED, S. & BLONDEAU, J. 2006. Temporal and spatial dynamics of *Lutjanus cyanopterus* (Pisces: Lutjanidae) and *Lutjanus jocu* spawning aggregations in the United States Virgin Islands. *Revista de Biología Tropical*, 54, 69-78.
- KOBARA S. & HEYMAN W. D. 2010. Sea bottom geomorphology of multi-species spawning aggregation sites in Belize. *Marine Ecology Progress Series*, 405, 243-254
- KOBARA S., HEYMAN W. D., PITTMAN S. J. & NEMETH R. S. 2013. Biogeography of transient reef-fish spawning aggregations in the Caribbean: a synthesis for future research and management. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 51, 281-326
- MANOOCH, C. S. 1987. Age and growth of snappers and groupers. In: Polovina, J. J. and Ralston, S. (Eds.). *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*. Boulder, USA: Westview Press. pp. 329-406.
- MARTINS, A.S., COSTA, P.A.S., OLAVO, G. & HAIMOVICI, M. 2006. Recursos Pesqueiros da Região Central In: MMA, Secretaria de Qualidade Ambiental (org.). *Programa REVIZEE: avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva - Relatório Executivo*. Brasília: MMA, p. 181-206.
- MOURA, R. L., FRANCINI-FILHO, R. B., CHAVES, E. M., MINTE-VERA, C. V., & LINDEMAN, K. C. 2011. Use of riverine through reef habitat systems by dog snapper (*Lutjanus jocu*) in eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95(1), 274–278.
- NEMETH, R.S., 2009. Dynamics of reef fish and decapod crustacean spawning aggregations: underlying mechanisms, habitat linkages, and trophic interactions. In *Ecological connectivity among tropical coastal ecosystems*. Springer, Dordrecht. pp. 73-134.
- OLAVO, G., COSTA, P. A. S. & MARTINS, A. S. 2005. Caracterização da pesca de Linha e dinâmica das frotas lineiras da Bahia, Brasil. In Costa, P. A. S., Martins, A. S. & Olavo, G. (Eds). *Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira* (pp. 13-34), Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros n. 13.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.B. 2015. Morfologia de Otólitos in Volpedo, A.V.; Vazdos-Santos, A.M. *Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones/ Métodos de estudios com otólitos: princípios e aplicações*. 1ª ed. edición bilingue. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2015.
- ROOKER, J.R., SECOR, D.H., ZDANOWICZ, V.S. & ITOH, T. 2001. Discrimination of northern bluefin tuna from nursery areas in the Pacific Ocean using otolith chemistry. *Marine Ecology Progress Series*, 218, pp.275-282.
- ROOKER, J.R.; SECOR, D.S.; DE METRIO, G.; SCHLOESSER, R.; BLOCK, B.A.; NEILSON, J.D. 2008. Natal Homing and Connectivity in Atlantic Bluefin Tuna Populations. *Science*, vol 322, 31 October
- SABORIDO-REY, F. & KJESBU, O.S. 2005. Growth and maturation dynamics. 26 pp. <http://hdl.handle.net/10261/47150>

SADOVY DE MITCHESON, Y.S., CORNISH, A., DOMEIER, M., COLIN, P.L., RUSSELL, M. & LINDEMAN, K.C. 2008. A global baseline for spawning aggregations of reef fishes. *Conservation biology*, 22(5), pp.1233-1244.

SADOVY DE MITCHESON, Y. & COLIN, P. 2012. Reef Fish Spawning Aggregations: Biology, Research and Management. *Fish and Fisheries Series 35*, Heidelberg: Springer.

SAKAUE, J., AKINO, H., ENDO, M., IDA, H. & ASAHIDA, T. 2016. Temporal and spatial site sharing during spawning in snappers *Symphoricthys spilurus* and *Lutjanus bohar* (Pisces: Perciformes: Lutjanidae) in waters around Peleliu Island, Palau. *Zoological Studies*, 55, 44.

SECOR, D.H. & ROOKER, J.R. 2000. Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes?. *Fisheries Research*, 46(1-3), pp.359-371.

SPARRE, P. & VENEMA, S.C. 1997. Introdução à avaliação de mananciais de peixes tropicais. Roma: FAO. Documento tecnico sobre as pescas. (306/1).

STEVENSON, D. K., & S. E. CAMPANA (ed.). 1992. Otolith microstructure examination and analysis. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117: 126 p.

TANNER, S.E., REIS-SANTOS, P. & CABRAL, H.N. 2016. Otolith chemistry in stock delineation: a brief overview, current challenges and future prospects. *Fisheries Research*, 173, pp.206-213.

THORROLD, S. R., CAMPANA, S. E., JONES, C. M., & SWART, P. K. 1997. Factors determining  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  fractionation in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(14), 2909–2919. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(97\)00141-](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00141-)

THORROLD, S.R., JONES, C.M., CAMPANA, S.E., MCLAREN, J.W. & LAM, J.W. 1998. Trace element signatures in otoliths record natal river of juvenile American shad (*Alosa sapidissima*). *Limnology and Oceanography*, 43(8), pp.1826-1835.

VAZ-DOS-SANTOS, A.M. 2015. Otólitos em estudos de idade e crescimento em peixes in in Volpedo, A.V.; Vaz-dos-Santos, A.M. *Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones/ Métodos de estudos com otólitos: princípios e aplicações*. 1ª ed. edición bilingue. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2015.

VON BERTALANFFY, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology* 10:181–243.

## APÊNDICE A - PREPARAÇÃO HISTOLÓGICA DE GÔNADAS

As lâminas histológicas foram preparadas no Laboratório Keizo Asami (LIKA), da Universidade Federal de Pernambuco. Inicialmente as gônadas tiveram uma secção mediana transversal retirada e colocadas em cassete histológico, os quais foram imersos em álcool 70% para desidratação e então encaminhados ao LIKA para preparação histológica. Ao chegar no Laboratório o material foi emblocado em parafina e cortado em micrótomo. Os cortes foram postos em lâminas de microscopia e submetidos à coloração, iniciada por um banho em Xilol (5 minutos), seguido por 10 rápidas imersões (mergulhos) em 3 cubas de Xilol (10 mergulhos em cada cuba), 3 mergulhos em álcool absoluto, seguidos por um mergulho em álcool 70% (Figura 01-A). Finalizada esta etapa a lâmina era então imersa em Hematoxilina *Harris* por um período de 10 a 15 minutos (Figura 01-B). Em seguida era lavada por 10 mergulhos em água corrente e, logo após, 10 mergulhos em água destilada (Figura 01-C). A próxima etapa consistia em imersão em Eosina por 30 segundos. Por fim as lâminas eram lavadas com 10 mergulhos em 5 cubas de álcool (10 em cada cuba) seguidos por 10 mergulhos em 4 cubas de xilol. Após o processo de coloração a preparação era finalizada com a colocação da lamínula, fixada com Entellan e secada em estufa (Figura 01-D).

Figura 01 - Procedimentos de coloração histológica em hematoxilina-eosina (A, B, C) e finalização das lâminas (D)

