



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA (PPGO)

VICTÓRIA SINCORÁ XAVIER

**INTERAÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA DINÂMICA POPULACIONAL DO POLVO
Octopus insularis (LEITE & HAIMOVICI, 2008), EXPLORADO NO RIO GRANDE
DO NORTE**

Recife
2024

VICTÓRIA SINCORÁ XAVIER

**INTERAÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA DINÂMICA POPULACIONAL DO POLVO
Octopus insularis (LEITE & HAIMOVICI, 2008), EXPLORADO NO RIO GRANDE DO
NORTE**

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

Área de concentração: Oceanografia Biológica

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Francisco de Nóbrega

Recife
2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Xavier, Victória Sincorá.

Interações oceanográficas na dinâmica populacional do polvo *Octopus insularis* (Leite & Haimovici, 2008), explorado no Rio Grande do Norte / Victória Sincorá Xavier. - Recife, 2024.
62f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia e Geociências,
Programa de Pós-graduação em Oceanografia, 2024.

Orientação: Marcelo Francisco de Nóbrega.

1. Cefalópodes; 2. Reprodução; 3. Abundância. I. Nóbrega,
Marcelo Francisco de. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

VICTÓRIA SINCORÁ XAVIER

**INTERAÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA DINÂMICA POPULACIONAL DO POLVO
Octopus insularis (LEITE & HAIMOVICI, 2008), EXPLORADO NO RIO GRANDE DO
NORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Oceanografia.
Área de concentração: Oceanografia Biológica

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Francisco de Nóbrega (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof.^a Dra. Helena Matthews-Cascon (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Bruno Braulino Batista (Examinador Externo)
Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA

Prof.^a Dra. Ilka Siqueira Lima Branco Nunes (Suplente Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Prof. Dr. José Souto Rosa Filho (Suplente Interno)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu forças e perseverança para finalizar esta jornada do mestrado. Sua presença constante foi essencial para superar os desafios e alcançar este importante marco em minha vida acadêmica. Sem Sua luz não teria sido possível chegar até aqui.

Em segundo lugar, quero expressar minha profunda gratidão ao meu orientador, prof. Dr. Marcelo Nóbrega. Sua confiança em meu potencial e a oportunidade de trabalhar com um tema inovador e de grande relevância foram determinantes para o sucesso deste trabalho. Sua orientação perspicaz, paciência e disponibilidade para discutir ideias e orientar o desenvolvimento desta dissertação foram fundamentais. Professor Marcelo, seu entusiasmo pelo conhecimento e sua dedicação à pesquisa são inspiradores, me considero privilegiada por ter tido a chance de aprender com o senhor.

Agradeço também ao Laboratório de Avaliação e Geoprocessamento de Estoques Pesqueiros (LAGEP) e todos os seus integrantes – alunos de graduação, mestrado e doutorado – que participaram ativamente e me ajudaram bastante nessa caminhada. Os colegas que fiz no LAGEP foram mais que amigos; foram como uma família nesses dois anos. Meu sincero agradecimento a Alan, Carol, Duda, Liana, Demétrio, Luís, Walter, Pedro, Cínthya, Marcelle, Alexandre, Matheus, Ingrid, Ingridd, Sara, Emilly e a todos que contribuíram ativamente no processamento de amostras ou que tornaram esta jornada mais leve e prazerosa.

Agradeço ainda ao Laboratório de Imunopatologia Keizo Asami (LIKA) por ter sido colaborador neste trabalho, possibilitando assim a conclusão deste estudo. A contribuição técnica e o apoio logístico do LIKA foram essenciais para a realização das análises necessárias e sou imensamente grata pela generosidade e profissionalismo demonstrados por todos os envolvidos, especialmente, pela Regina Botter.

Minha gratidão se estende também ao Departamento de Oceanografia (DOCEAN) e à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A infraestrutura e os recursos disponibilizados foram fundamentais para a realização desta pesquisa. Além disso, sou grata pela formação acadêmica de excelência que recebi ao longo destes anos. O conhecimento adquirido e as experiências vividas aqui moldaram minha trajetória acadêmica e profissional de maneira significativa.

Quero também expressar minha sincera gratidão ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da minha bolsa de estudos de mestrado. O apoio financeiro do CNPq foi crucial para a realização deste trabalho,

permitindo que eu me dedicasse integralmente à pesquisa e aos estudos. Este investimento na ciência e na formação de pesquisadores é de extrema importância para o avanço do conhecimento e do desenvolvimento do nosso país.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os meus familiares e amigos fora do ambiente acadêmico, que, mesmo não diretamente envolvidos no trabalho, ofereceram suporte emocional e encorajamento ao longo desta jornada. Um agradecimento especial aos meus pais, Valdelina e Geraldo, à minha irmã Duda e ao Ricardo. Às minhas amigas Mari e Andressa, Karina, Jennifer e ao meu amigo Igor. A compreensão e o apoio de vocês foram cruciais nos momentos de dificuldade. Amo vocês.

A todos, a minha gratidão.

RESUMO

A espécie *Octopus insularis* (Leite & Haimovici, 2008) é ecologicamente importante e tem relevância socioeconômica no Nordeste do Brasil, sendo pescada com potes de cimento em Rio do Fogo, RN, por mergulho livre e com compressor. A carência de dados pesqueiros e regulamentação específica motiva este estudo, que investiga a estrutura populacional, o padrão reprodutivo, e a influência de variáveis ambientais na abundância e distribuição da espécie. Entre outubro de 2019 e janeiro de 2022, foram registrados 607 desembarques, resultando em 23,413 toneladas e 35.821 exemplares capturados. Uma subamostra ($n=1.265$) foi medida e pesada. Utilizou-se o Índice de Abundância Relativo, estimado pela Captura por Unidade de Esforço ($CPUE = \text{kg}/100 \text{ potes}$) e um Modelo Linear Generalizado foi aplicado para analisar a CPUE em relação às variáveis mês, profundidade e tipo de substrato. Adicionalmente, amostras foram coletadas mensalmente de janeiro a dezembro de 2020, medidas (comprimento do manto e total) e pesadas, com gônadas sexadas, classificadas quanto ao estágio maturacional e processadas histologicamente. Um Modelo Linear Generalizado foi aplicado para modelar o Índice Gonadossomático (IGS) em função do mês, sexo e peso total. Dos 234 polvos coletados, 54% eram fêmeas e 46% machos, com uma proporção sexual de 1M:1,17F, sem diferenças significativas. O Índice Gonadossomático (IGS) variou ao longo do ano, com picos em janeiro, julho e outubro, e indivíduos maduros foram encontrados na maioria dos meses. O desenvolvimento assíncrono dos ovócitos indicou desova repetida durante um único evento reprodutivo, evidenciando a estratégia reprodutiva da espécie. Os tamanhos do manto (L_{50}) e pesos (P_{50}) de primeira reprodução foram estimados em 11,46 cm e 526 g para machos, e 13,67 cm e 732 g para fêmeas evidenciando que os machos maturam mais cedo que as fêmeas. A população de *O. insularis* é composta principalmente por indivíduos jovens, com fêmeas maiores em comprimento e peso médios. A abundância relativa foi maior entre agosto e janeiro, nos meses mais quentes, quando o mar está calmo e as águas são mais transparentes. Observou-se segregação de tamanhos por profundidade, com exemplares maiores encontrados em águas profundas, especialmente na restinga (10-15 m). A distribuição observada sugere migração reprodutiva para áreas profundas, onde a deposição dos ovos é mais segura. As informações geradas visam subsidiar normativas para a conservação e uso sustentável, e regulamentar a exploração de polvo na região nordeste do Brasil.

Palavras-chave: cefalópodes; reprodução; abundância; Rio do Fogo.

ABSTRACT

The species *Octopus insularis* (Leite & Haimovici, 2008) is ecologically important and has socio-economic relevance in the Northeast of Brazil. It is fished with cement pots in Rio do Fogo, RN, by free diving and with a compressor. The lack of fishing data and specific regulations motivates this study, which investigates the population structure, reproductive pattern and the influence of environmental variables on the abundance and distribution of the species. Between October 2019 and January 2022, 607 landings were recorded, resulting in 23.413 tons and 35,821 specimens caught. A sub-sample (n=1,265) was measured and weighed. The Relative Abundance Index was used, estimated by the Catch Per Unit Effort (CPUE= kg/100 pots), and a Generalized Linear Model was applied to analyse CPUE in relation to the variables month, depth and substrate type. In addition, samples were collected monthly from January to December 2020, measured (mantle and total length) and weighed, with gonads sexed, classified as to maturational stage and processed histologically. A Generalized Linear Model was applied to model the Gonadosomatic Index (GSI) as a function of month, sex and total weight. Of the 234 octopuses collected, 54% were female and 46% male, with a sex ratio of 1M:1.17F, with no significant differences. The Gonadosomatic Index (GSI) varied throughout the year, with peaks in January, July and October, and mature individuals were found in most months. The asynchronous development of oocytes indicated repeated spawning during a single reproductive event, evidencing the species' reproductive strategy. The sizes (L50) and weights (P50) of first reproduction were estimated at 11.46 cm and 526 g for males, and 13.67 cm and 732 g for females, showing that males mature earlier than females. The population of *O. insularis* is mainly made up of young individuals, with females being larger in average length and weight. Relative abundance was highest between August and January, in the warmer months, when the sea is calm and the waters are more transparent. Size segregation by depth was observed, with larger specimens found in deeper waters, especially in the restinga (10-15 m). The observed distribution suggests reproductive migration to deep areas, where egg deposition is safer. The information generated aims to support regulations for conservation and sustainable use, and to regulate octopus exploitation in the region.

Keywords: cephalopods; reproduction; abundance; Rio do Fogo.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1 – ESTRUTURA POPULACIONAL E BIOLOGIA REPRODUTIVA DO *Octopus insularis* EXPLORADO EM RIO DO FOGO, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

Figura 1.	Trajetos e áreas de pesca da frota que explora o polvo na localidade de Rio do Fogo, entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022.....	19
Figura 2.	Polvo dentro de um pote de cimento no fundo mar (A); pescador despescando um polvo no pote (B).....	19
Figura 3.	Distribuição de frequências de machos e fêmeas em relação ao comprimento total (A), comprimento do manto (B) e peso (C) de <i>O. insularis</i> capturados no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020.....	23
Figura 4.	Relação entre o peso total (PT) e o comprimento do manto (CM) de fêmeas (A) e machos (B) de <i>O. insularis</i>	24
Figura 5.	Seção histológica de ovários (A – D) e testículos (E – H) de <i>Octopus insularis</i> em diferentes estágios de desenvolvimento. A- Fêmea imatura com ovogônias (OG) aderidas ao tecido conjuntivo (TC). B- Fêmea em maturação com: ovócitos primários (OP), ovócitos secundários (OS), pedúnculo (PE) e células foliculares (CF). C- Fêmea madura com ovócitos vitelogênicos (OV) e formação do córion (C). D- Fêmea pós-desova com folículos pós-ovulatórios (POFs) e poucos ovócitos maduros. E- Macho imaturo com pequenos e organizados túbulos seminíferos (TS). F- Macho em maturação com todos os estágios da espermatogênese presentes: espermatogônia (EG), espermatócito (EC), espermatíde (ES) e espermatozóide (EZ). G- Macho maduro com abundância de espermatozoides nos túbulos seminíferos. H. Macho pós-desova apresentando vazios nos túbulos e poucos espermatozóides (EZ).....	29
Figura 6.	Valores médios mensais do índice gonadossomático (IGS) para fêmeas e machos de <i>Octopus insularis</i> , capturados no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020.....	30
Figura 7.	Valores esperados médios e intervalo de confiança do IGS para o modelo GLM estabelecido em relação aos meses do ano, para <i>O. insularis</i> explorado em Rio do Fogo (RN).....	31
Figura 8.	Variação dos índices gonadossomáticos de machos e fêmeas em relação aos estágios de maturação.....	32
Figura 9.	Distribuição mensal de frequência dos estágios de maturação (análise histológica) para fêmeas (A) e machos (B) de <i>O. insularis</i> (n=120).....	33
Figura 10.	Modelos logísticos para o comprimento de primeira maturação sexual (L_{50}) para machos e fêmeas de <i>O. insularis</i>	35
Figura 11.	Proporção entre jovens e adultos de acordo com o comprimento do manto de <i>O. insularis</i>	37
Figura 12.	Proporção entre jovens e adultos de acordo com o peso total de <i>O. insularis</i>	38

ARTIGO 2 – INTERAÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA ABUNDÂNCIA E ESTRUTURA POPULACIONAL DO POLVO *Octopus insularis* NA REGIÃO COSTEIRA DE RIO DO FOGO, RIO GRANDE DO NORTE

Figura 13.	Embarcações cujos desembarques foram acompanhados em Rio do Fogo.....	46
------------	---	----

Figura 14.	Potes de cimento armazenados na praia para serem levados ao mar para captura de polvo.....	46
Figura 15.	Trajetos e áreas de pesca da frota que explora o polvo na localidade de Rio do Fogo, entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022.....	47
Figura 16.	Distribuição de frequência de comprimento total (A), comprimento do manto (B) e peso total (C), para os exemplares de polvos amostrados em Rio do Fogo entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022.....	49
Figura 17.	Peso médio (círculos) e erro padrão (barras) mensal dos exemplares capturados entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022.....	50
Figura 18.	Produção média (círculos) e erro padrão (barras) mensal, resultante dos desembarques de polvo acompanhados entre outubro de 2019 e janeiro de 2022.	
Figura 19.	Abundâncias relativas médias (círculos) e erro padrão (barras) mensal.....	51
Figura 20.	Abundâncias relativas médias (círculos) e erro padrão (barras) em relação às profundidades onde os pots estão localizados e foram despescados.....	52
Figura 21.	Comprimento do manto (círculos) e erro padrão (barras) dos exemplares capturados em relação às profundidades.....	52
Figura 22.	Distribuição de frequência do número de pots despescados por pescaria nas capturas de polvo.....	54
Figura 23.	CPUEs médias em relação ao tipo de substrato (A); profundidades médias dos tipos de substratos onde os pots estão localizados e foram despescados (B)....	54
Figura 24.	Valores esperados médios e intervalo de confiança da CPUE para o modelo GLM estabelecido em relação aos meses do ano, para <i>O. insularis</i> explorado em Rio do Fogo (RN).....	57
Figura 25.	Valores esperados médios e intervalo de confiança da CPUE para o modelo GLM estabelecido em relação a profundidade, para <i>O. insularis</i> explorado em Rio do Fogo (RN).....	57
Figura 26.	Valores esperados médios e intervalo de confiança da CPUE para o modelo GLM estabelecido em relação aos tipos de substrato, para <i>O. insularis</i> explorado em Rio do Fogo (RN).....	58

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1 – ESTRUTURA POPULACIONAL E BIOLOGIA REPRODUTIVA DO *Octopus insularis* EXPLORADO EM RIO DO FOGO, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

Tabela 1.	Variações do comprimento total, comprimento do manto e peso individual de machos e fêmeas de <i>O. insularis</i>	22
Tabela 2.	Propoção sexual mensal de <i>O. insularis</i> capturado em Rio do Fogo no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020 (n=234).....	25
Tabela 3.	Caracterização macroscópica dos estágios maturacionais de fêmeas e machos de <i>O. insularis</i> capturado em Rio do Fogo no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020 (adaptado de Guerra (1975); Batista (2011); e Lima <i>et al.</i> , (2014)).....	26
Tabela 4.	Caracterização microscópica dos estágios de desenvolvimento dos gametas de fêmeas e machos de <i>O. insularis</i> capturados capturado em Rio do Fogo no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020 (adaptado de Lima <i>et al.</i> (2014); Sieiro, Otero e Guerra (2014); e Alejo Plata (2015)).....	27
Tabela 5.	Sumário do modelo GLM para o índice gonadossomático em relação ao sexo, ao mês e ao peso total individual de <i>O. insularis</i> explorado em Rio do Fogo (RN).31	
Tabela 6.	Sumário do modelo de regressão não linear para o comprimento de primeira matuação (L ₅₀) de machos e fêmeas de <i>O. insularis</i> (Bootstrap baseado em 30 reamostragens).....	34
Tabela 7.	Proporção entre jovens e adultos estimado para o total de amostras de <i>O. insularis</i>	36
Tabela 8.	Proporção entre jovens e adultos de machos e fêmeas de <i>O. insularis</i>	37

ARTIGO 2 – INTERAÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA ABUNDÂNCIA E ESTRUTURA POPULACIONAL DO POLVO *Octopus insularis* NA REGIÃO COSTEIRA DE RIO DO FOGO, RIO GRANDE DO NORTE

Tabela 9.	Variações do comprimento total, comprimento do manto e peso individual dos exemplares capturados entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022.....	48
Tabela 10.	Sumário do modelo GLM para a CPUE em relação ao tipo de substrato, ao mês e a profundidade, referente as capturas de <i>O. insularis</i> explorado em Rio do Fogo(RN).....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2 ARTIGO 1 – ESTRUTURA POPULACIONAL E BIOLOGIA REPRODUTIVA DO OCTOPUS INSULARIS EXPLORADO EM RIO DO FOGO, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL.....	15
3 ARTIGO 2 – INTERAÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA ABUNDÂNCIA E ESTRUTURA POPULACIONAL DO POLVO OCTOPUS INSULARIS NA REGIÃO COSTEIRA DE RIO DO FOGO, RIO GRANDE DO NORTE.....	43
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os cefalópodes formam um grupo de moluscos que incluem polvos, lulas e sépias (Sauer *et al.*, 2021) e são encontrados em todos os oceanos, desde águas quentes tropicais até águas frias do Ártico e Antártica (Norman, 2003). Habitam de águas rasas à grandes profundidades (Nesis, 1987) e apresentam considerável importância econômica. Conhecido vulgarmente como polvo-recife-brasileiro, *Octopus insularis* (Leite e Haimovici, 2008) pertence ao grupo de aproximadamente 200 espécies que compõe a família Octopodidae (Jereb *et al.*, 2013), sendo uma espécie semelpárea, de ciclo de vida curto, porte médio e alta resiliência (Boyle; Rodhouse, 2005; Batista, 2011). Os polvos desempenham papéis ecológicos fundamentais nos ecossistemas marinhos (Nesis, 1987), seja atuando como predadores ao se alimentarem da fauna bentônica ou como presas de grandes predadores (Hanlon; Messenger, 1996). Além do papel ecológico, este grupo de moluscos constitui importante recurso pesqueiro em ilhas oceânicas e águas tropicais do litoral Norte e Nordeste do Brasil.

Nas últimas décadas, as populações de cefalópodes aumentaram consideravelmente, no entanto, vêm sofrendo alta pressão pesqueira segundo os dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). Entre os anos de 2005 e 2014, os desembarques mundiais de cefalópodes apresentaram um total de 4,8 milhões de toneladas, sendo os mais altos relatados para a década (FAO, 2016). Deste total de desembarques, a maioria correspondeu à pesca de lulas (80%), enquanto que polvos e sépias representaram aproximadamente 10% (FAO, 2016). A produção mundial total de polvos registrada até 2014, indicou um aumento constante no número de capturas chegando a 355.239 t, aproximadamente o dobro relatado em 1980 (179.042 t) (FAO, 2016). Recentes dados relataram queda das capturas globais de cefalópodes, em 2017 e 2018, para aproximadamente 3,6 milhões de toneladas em relação ao volume alcançado em 2014, mas continuam em níveis relativamente altos (FAO, 2020). Devido à forte demanda por polvos nos últimos anos e seu alto valor comercial em âmbito mundial, faz-se necessário regimes de gestão mais rigorosos (FAO, 2020).

No Brasil, do total de 2.104 t observa-se que a pesca está mais concentrada nas regiões Sul (501 t; 23,8%) e Sudeste (1.116,5 t; 53%), sendo esta predominantemente de caráter industrial (IBAMA, 2008). No entanto, a região Nordeste se destaca com cerca de 23,1% da produção brasileira de polvos, sendo o Rio Grande do Norte o maior estado produtor de polvo do Nordeste e quarto maior produtor do Brasil, totalizando 23% das capturas brasileiras (IBAMA, 2008; Haimovici *et al.*, 2014).

A espécie *O. insularis* é alvo tanto da pesca com espinhel de potes quanto da pesca de pequena escala, sendo a principal espécie alvo da pesca no Nordeste e ilhas oceânicas (Sauer *et al.*, 2021; Haimovici *et al.*, 2014). Uma das principais regiões de exploração no Brasil encontra-se no município de Rio do Fogo, situado em uma grande área marinha protegida (Vasconcelos, 2008), no qual se destacou por ser o maior produtor do estado do Rio Grande do Norte, correspondendo a 39% das capturas (Vasconcelos, 2008), sendo estas realizadas através do mergulho autônomo e de mergulho auxiliado com compressor de ar. Por ser realizada como atividade complementar à pesca da lagosta, principalmente, na época do defeso (Haimovici *et al.*, 2014; Lima *et al.*, 2014), esse tipo de pescaria se torna preocupante, pois não há regulamentação específica para a pesca de pequena escala de mergulho autônomo, e o uso de compressores de ar é proibido pela Instrução Normativa IBAMA 138/2007 (Vasconcelos, 2008), resultando na subestimação da produção de polvo por falta de estatísticas destas pescarias.

Diversos estudos têm contribuído significativamente para o conhecimento da biologia e ecologia da espécie desde sua recente descoberta, uma vez que, inicialmente, foi classificada como *Octopus vulgaris*. Dentre eles, estudos de crescimento e dinâmica populacional (Batista *et al.*, 2021), de ecologia trófica (Dantas, 2017), de reprodução (Lima *et al.*, 2014) e aspectos da pesca (Sauer *et al.*, 2021). Diante do contexto apresentado e das lacunas sobre a espécie que precisam ser preenchidas, o primeiro capítulo desta dissertação tem como objetivo trazer informações acerca da biologia reprodutiva do *O. insularis* para servir como subsídio às políticas de manejo no município de Rio do Fogo e manter a exploração deste recurso em níveis sustentáveis. Portanto, o presente trabalho compilou informações disponíveis sobre a biologia de *O. insularis* complementando e comparando estas informações com as registradas em estudos em Rio do Fogo e em todo Nordeste. O segundo capítulo teve como objetivo investigar a distribuição espaço-temporal e abundância relativa em relação às variáveis oceanográficas entre os anos de 2019 a 2022, fornecendo informações cruciais para regulamentação dessas pescarias.

Dessa forma, ambos os capítulos visam preencher lacunas importantes permitindo um melhor entendimento sobre a estrutura populacional da espécie e padrão reprodutivo, através da análise da estrutura em sexo e em comprimento, da relação peso total e comprimento total, da curva de primeira maturação e do índice gonadosomático, bem como a abundância relativa e influência das variáveis ambientais na distribuição espaço-temporal dessa população. Além de gerar informações técnico-científicas capazes de subsidiar discussões e contribuir com normativas voltadas para a conservação e uso sustentável desse recurso, bem como para o permissionamento e regulamentação da exploração de polvo no extremo nordeste do Brasil.

2 ARTIGO 1 – ESTRUTURA POPULACIONAL E BIOLOGIA REPRODUTIVA DO *Octopus insularis* EXPLORADO EM RIO DO FOGO, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

RESUMO

A espécie *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae) Leite e Haimovici (2008) habita águas tropicais rasas e quentes do Nordeste brasileiro e ilhas oceânicas. Este estudo visa atualizar e expandir o conhecimento sobre a biologia reprodutiva de *O. insularis* e sua variação temporal na região de Rio do Fogo, Rio Grande do Norte. Amostras foram coletadas mensalmente entre janeiro e dezembro de 2020 a partir de desembarques da frota artesanal que utiliza potes de cimento. As amostras foram medidas (comprimento do manto e total) e pesadas, com gônadas classificadas quanto ao estágio maturacional e processadas histologicamente. Um Modelo Linear Generalizado foi aplicado para modelar o Índice Gonadossomático (IGS) em função de mês, sexo e peso total. Dos 234 polvos coletados, 54% eram fêmeas e 46% machos, com proporção sexual de 1M:1,17F, sem diferenças estatísticas significativas. O comprimento total variou de 31,5 a 73 cm, com moda em 49 cm para fêmeas e 42-49 cm para machos. O comprimento do manto variou de 8,2 a 17 cm, com moda em 11 cm, e o peso total de 211 a 1367 g, com maior frequência em 340 g. Os valores médios do IGS variaram significativamente ao longo do ano, com picos em janeiro, julho e outubro, e indivíduos maduros observados durante todo o ano. Os tamanhos do manto e pesos de primeira reprodução foram estimados em 11,46 cm e 526 g para machos, e 13,67 cm e 732 g para fêmeas evidenciando que os machos maturam mais cedo que as fêmeas. A análise populacional indica uma predominância de indivíduos jovens, capturados entre 10-11 cm de comprimento e 300-450 g de peso. Este padrão de captura pode estar relacionado à ausência de regulamentações adequadas. O tamanho mínimo de captura de 11 cm, conforme a regulamentação pesqueira no Brasil, pode não ser suficiente para garantir a sustentabilidade da população de *O. insularis*. Portanto, é crucial revisar o tamanho mínimo de captura e implementar um peso mínimo, garantindo que os polvos alcancem a maturidade sexual antes de serem pescados, promovendo assim a sustentabilidade a longo prazo da pesca.

Palavras-chave: maturação sexual; índice gonadossomático; estrutura populacional; manejo.

ABSTRACT

The species *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae) Leite and Haimovici (2008) inhabits shallow and warm tropical waters of the Brazilian Northeast and oceanic islands. This study aims to update and expand knowledge on the reproductive biology of *O. insularis* and its temporal variation in the Rio do Fogo region, Rio Grande do Norte. Samples were collected monthly between January and December 2020 from landings by the artisanal fleet using cement pots. Samples were measured (mantle length and total length) and weighed, with gonads classified according to maturation stage and processed histologically. A Generalized Linear Model was applied to model the Gonadosomatic Index (GSI) as a function of month, sex and total weight. Of the 234 octopuses collected, 54% were female and 46% male, with a sex ratio of 1M:1.17F, with no statistically significant differences. Total length ranged from 31.5 to 73 cm, with a mode of 49 cm for females and 42-49 cm for males. The mantle length ranged from 8.2 to 17 cm, with a mode of 11 cm, and the total weight from 211 to 1367 g, most frequently 340 g. Mean IGS values varied significantly throughout the year, with peaks in January, July and October, and mature individuals observed throughout the year. The sizes and weights at first reproduction were estimated at 11.46 cm and 526 g for males, and 13.67 cm and 732 g for females, showing that males mature earlier than females. The population analysis indicates a predominance of young individuals, caught between 10-11 cm in length and 300-450 g in weight. This catch pattern may be related to the lack of adequate regulations. The minimum catch size of 11 cm, according to fishing regulations in Brazil, may not be enough to guarantee the sustainability of the *O. insularis* population. Therefore, it is crucial to review the minimum catch size and implement a minimum weight, ensuring that octopuses reach sexual maturity before being caught, thus promoting the long-term sustainability of the fishery.

Keywords: sexual maturation; gonadosomatic index; population structure; management.

2.1 INTRODUÇÃO

A espécie *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae) descrita por Leite e Haimovici (2008), é conhecida por habitar águas tropicais quentes e rasas, sendo particularmente comum no litoral do Nordeste brasileiro e em ilhas oceânicas (Leite *et al.*, 2009; Batista *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2014a). Este cefalópode constitui um importante recurso pesqueiro, destacando-se pelo seu papel socioeconômico nas principais regiões de captura (Leite *et al.*, 2009). Suas características biológicas incluem ciclo de vida curto, porte médio e rápido crescimento, além de cuidado parental e morte dos machos e das fêmeas após a eclosão dos ovos, um padrão reprodutivo conhecido denominado semelparidade (Boyle; Rodhouse, 2005; Batista, 2011; Arkhipkin *et al.*, 2020).

Nas últimas décadas, as populações de cefalópodes apresentaram um aumento considerável, entretanto, essas populações têm enfrentado uma crescente pressão pesqueira, conforme documentado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2020). A elevada demanda global e o alto valor comercial desses organismos têm acentuado a necessidade de implementação de regimes de gestão mais rigorosos e sustentáveis.

A pesca de polvos no Brasil está predominantemente concentrada nas regiões Sul e Sudeste, sendo caracterizada como industrial através do uso de espinhel de potes, com *O. vulgaris* sendo a espécie alvo principal (IBAMA, 2008; Sauer *et al.*, 2021). A região Nordeste também desempenha um papel significativo na captura de polvos, com *O. insularis* sendo o alvo tanto de espinheis de potes quanto de pescarias de pequena escala (Braga *et al.*, 2007; Batista *et al.*, 2022; Haimovici *et al.*, 2014). O estado do Rio Grande do Norte, em particular, destaca-se por alcançar as maiores capturas no município de Rio do Fogo, situado em uma grande área marinha protegida (IBAMA, 2008; Vasconcelos, 2008; Haimovici *et al.*, 2014). Essa concentração regional nas capturas reflete a importância econômica e socioambiental da pesca de polvos nessas áreas, exigindo estratégias de gestão adequadas para assegurar a sustentabilidade dos estoques pesqueiros.

Desde a sua recente descrição, a espécie *Octopus insularis* tem sido amplamente estudada para ampliar o conhecimento sobre sua biologia. Estudos sobre a dinâmica populacional desta espécie foram conduzidos no nordeste do Brasil, especificamente no Rio Grande do Norte (Leite *et al.*, 2009; Lima *et al.*, 2014a; Lima *et al.*, 2014b) e no Ceará (Batista *et al.*, 2021), sendo possível constatar que a espécie *Octopus insularis* apresenta uma distribuição diferenciada entre juvenis e adultos em relação à profundidade da água. Juvenis e indivíduos imaturos são

frequentemente encontrados em águas rasas, enquanto as fêmeas adultas de maior porte, deslocam-se para águas mais profundas para realizar a desova. Ademais, *Octopus insularis* apresenta um padrão de desova que ocorre em diferentes períodos ao longo do ano com fecundidade elevada, embora a intensidade da desova varie conforme a época (Batista, 2011; Lima *et al.*, 2014b). Esses estudos são cruciais, pois a gestão sustentável de uma espécie depende fundamentalmente de pesquisas que forneçam informações detalhadas sobre sua dinâmica populacional.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a biologia reprodutiva de *Octopus insularis* e sua variação temporal. O estudo apresenta informações detalhadas sobre as relações dos comprimentos e estágios de maturação sexual para machos e fêmeas, assim como curvas de primeira maturação e como os índices gonadossomáticos variam ao longo do ano permitindo a identificação dos períodos e áreas de reprodução, bem como as estratégias reprodutivas da espécie. Essas informações são fundamentais para o desenvolvimento de medidas de gestão eficazes, visando assegurar a exploração sustentável deste recurso pesqueiro na região de Rio do Fogo, Rio Grande do Norte.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Coleta de dados

O presente estudo foi realizado no município de Rio do Fogo (Figura 1), localizado no litoral norte do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. As amostras foram coletadas mensalmente, no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020, junto à frota artesanal que explora o polvo *Octopus insularis*, sendo coletados aproximadamente 20 exemplares por mês, totalizando 234 espécimes. Os exemplares foram capturados pela frota de jangadas que explora este recurso em Rio do Fogo entre 5 e 16 metros de profundidade, utilizando potes de cimento e um gancho conhecido popularmente como bicheiro (Figura 2A; 2B), sendo posteriormente armazenados em gelo para processamento em laboratório.

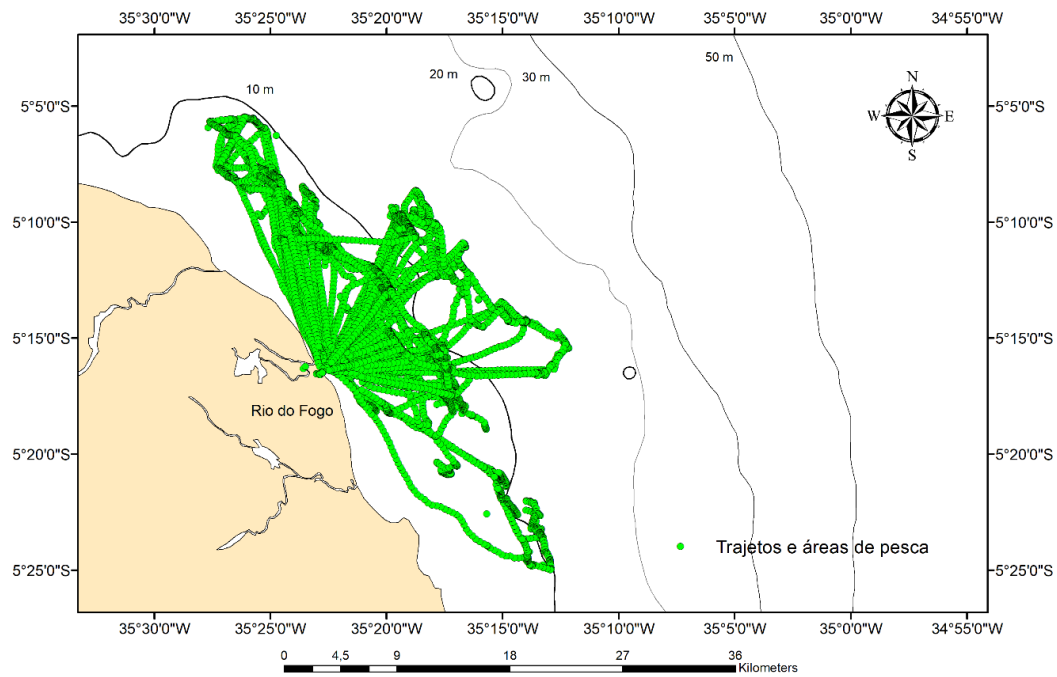


Figura 1. Trajetos e áreas de pesca georreferenciados utilizando um GPS ETREX da Garmin, junto a uma das jangadas que explora o polvo na localidade de Rio do Fogo, entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022.

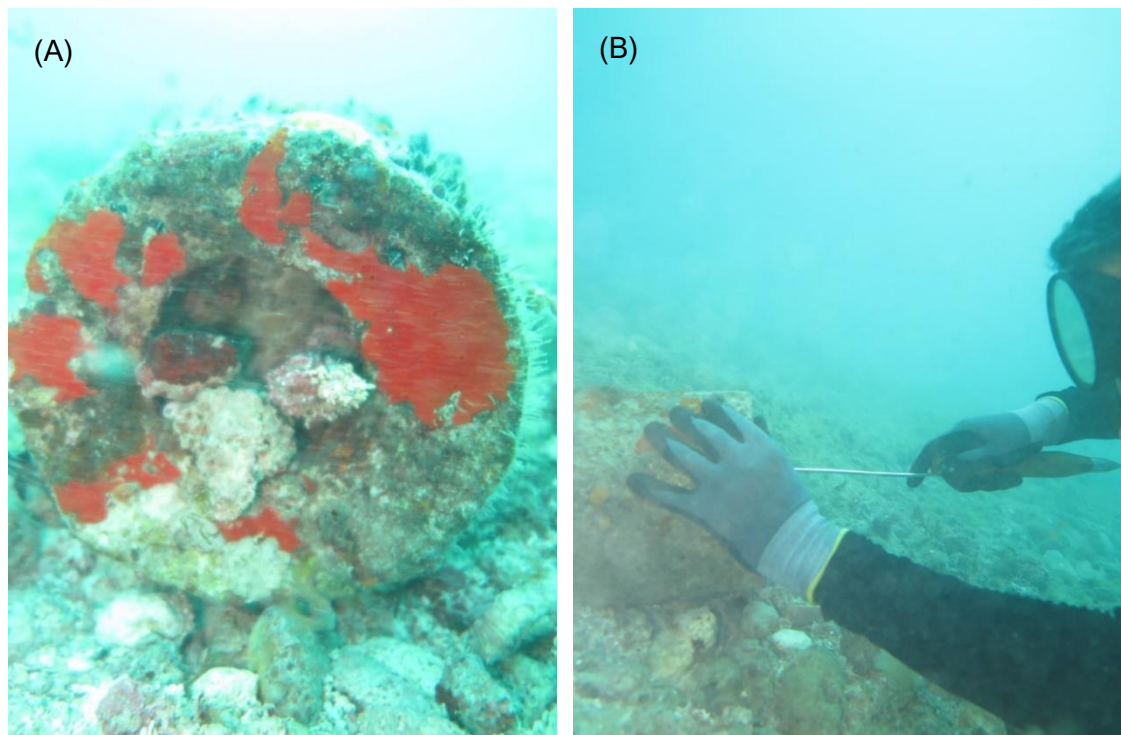


Figura 2. Polvo dentro de um pote de cimento no fundo mar (A); pescador despescando um polvo no pote (B).

2.2.2 Processamento das amostras

Todos os exemplares foram medidos (comprimento do manto - CM, comprimento total

- CT) e pesados (peso total - PT), com auxílio de uma balança digital, no Laboratório de Avaliação e Geoprocessamento de Estoques Pesqueiros (LAGEP), no Departamento de Oceanografia (Docean) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Em seguida, foram eviscerados e as gônadas sexadas e pesadas em balança com precisão de 0,001 g, bem como classificadas macroscopicamente segundo os estágios de maturação. Foram registrados o peso do ovário (PO) nas fêmeas e o peso do testículo (PTS) e do saco de Needham (PSN) nos machos. O aparelho reprodutor foi fixado em solução de formaldeído 10% e após 24h, a solução foi substituída por etanol a 70% para conservação.

O processamento histológico foi realizado no Laboratório de Imunopatologia Keizo Asami (LIKA/UFPE) para posterior análise histológica. As amostras, após serem seccionadas, foram desidratadas em álcool etílico, em ordem crescente de concentração (70%, 80%, 90%, 100%); clarificadas em xilol; e impregnadas em parafina, onde permaneceram por 1h em cada solução do processador histotécnico (Leica® TP 1020). Para a confecção dos blocos de parafina, utilizou-se uma estação de inclusão. Após a inclusão, os blocos foram cortados com um micrótomo de deslizamento (Yamato Kohki Industrial) a 5µm para obtenção dos cortes histológicos. Em seguida, esses cortes foram corados com Hematoxilina e Eosina (Anadón, 2019), permitindo a visualização detalhada das estruturas celulares e teciduais. A sequência de coloração envolveu a desparafinação, hidratação, coloração com hematoxilina, diferenciação com ácido, neutralização, coloração com eosina, desidratação e montagem final das lâminas. Os cortes corados com hematoxilina-eosina previamente selecionados foram analisados microscopicamente. As imagens foram capturadas utilizando o microscópio Zeiss® Imager M2m, operado com o *software* Zen (Zeiss). Este procedimento permitiu a documentação detalhada das estruturas histológicas para posterior análise e identificação dos estágios.

A classificação macroscópica levou em consideração aspectos como tamanho, cor, textura e grau de formação dos ovários e testículos, saco de Needham e espermatóforos com base na escala proposta por Guerra (1975), Batista (2011) e Lima *et al.* (2014a), considerando quatro fases de maturação para fêmeas e machos: 1- imaturo, 2- em maturação, 3- maduro e 4- pós-desova. Os diferentes tipos de células foram descritos e adaptados de acordo com estudos histológicos realizados por Lima *et al.* (2014a) para *O. insularis*, Alejo Plata e Gómez-Márquez (2015) para *O. hubbsorum* e Sieiro, Otero e Guerra (2014) para *O. vulgaris*, considerando quatro estágios de desenvolvimento das gônadas para fêmeas e machos: 1- imaturo, 2- em maturação, 3- maduro e 4- pós-desova.

2.2.3 Análise de dados

O sexo foi determinado pela observação das gônadas. Um teste do qui-quadrado (χ^2) foi usado para avaliar se as diferenças entre os sexos foram estatisticamente significativas (Zar, 1999). A proporção sexual foi estimada por meio da razão entre o número total de machos e fêmeas capturados por mês e para todo o período de estudo.

Foi estabelecida a estrutura de tamanhos e pesos para machos e fêmeas. Uma regressão potencial foi estabelecida entre o peso total e o comprimento total, utilizando a seguinte equação: $y = ax^b$ onde, y é o peso total e x o comprimento total a o coeficiente linear ou constante e b o coeficiente angular (Santos, 1978). Para avaliar diferenças estatísticas entre as proporções de sexos foi aplicado o teste de qui-quadrado (χ^2 ; $p < 0,05$) (ZAR, 2010). Para avaliação da dinâmica sazonal da atividade reprodutiva da espécie foram estimados mensalmente o índice gonadossomático (IGS) para ambos os sexos, no qual relaciona o peso da gônada com o peso do corpo. Para os machos, é utilizada a equação: $IGS_M = (PN / PC - PN) \times 100$, onde PN= peso do saco de Needham e PC= peso do corpo, e para as fêmeas: $IGS_F = (PO / PC - PO) \times 100$, onde PO= peso do ovário (Otero *et al.*, 2007).

Modelos Lineares Generalizados ou GLMs foram formalmente introduzidos por Nelder & Wedderburn (1972). Posteriormente foram expandidos por McCullagh & Nelder (1989) e incorporados em avaliações de recursos pesqueiros (Helser *et al.* 2004; Maunder & Punt, 2004, Venables & Dichmont 2004). Um GLM foi estabelecido para modelar o Índice gonadossomático (IGS), considerando como variável resposta o IGS em função das variáveis mês, sexo e peso total individual dos exemplares. O modelo de distribuição de probabilidade utilizado foi o Normal e a função de ligação logarítmica. O modelo proposto apresentou a seguinte estrutura em seus fatores e covariáveis: $IGS \sim \beta_0 + \text{sexo} + \beta_1 * \text{Mês} + \beta_2 * \text{Peso total}$. Onde: β_0 é o termo intercepto e β_1 e β_2 os coeficientes das covariáveis inseridas no modelo.

A estimativa do comprimento de primeira maturação para o polvo foi calculada usando o comprimento do manto (CM) dos indivíduos nos estágios de desenvolvimento 3 (maduros) e 4 (pós-desova). O comprimento ao qual 50% dos espécimes desovaram pelo menos uma vez (L_{50}) foi estimado separadamente para machos e fêmeas, usando uma função logística de regressão não linear (Haddon, 2001): $Mf = 1 / 1 + e^{-a(CM - b)}$, onde Mf é a fração de maturidade dos organismos maduros, CM é o comprimento do manto, e os parâmetros a e b são estimados pela regressão não linear. O parâmetro a é a constante e b o coeficiente angular, representando o L_{50} .

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Frequência de comprimentos e pesos

Um sumário das variações do comprimento total, comprimento do manto e pesos individuais para machos e fêmeas se encontram na tabela 1. O comprimento total (CT) variou de 31,5 a 73 cm para todos os espécimes mensurados (n=234), com moda na classe de 49 cm para fêmeas, e em 42 e 49 cm para os machos (Figura 3A); já o comprimento do manto (CM) variou de 8,2 a 17 cm para todos os indivíduos, com as maiores frequências observadas na classe de 11 cm (Figura 3B). Em relação ao peso total (PT), os espécimes variaram de 211 a 1367 g, com maior frequência de machos e fêmeas na classe de 340 g (Figura 3C).

Tabela 1. Variações do comprimento total, comprimento do manto e peso individual de machos e fêmeas de *O. Insularis* capturados em Rio do Fogo.

Sexo		N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Fêmeas	CT (cm)	126	33,0	68,0	53,5	7,4
	CM (cm)	126	8,2	17,0	12,049	1,8258
	PT (g)	126	244	1324	623	230
Machos	CT (cm)	108	31,5	73,0	51,4	7,8
	CM (cm)	108	8,5	17,0	11,9	1,7
	PT (g)	108	211	1367	594	235

Os polvos da espécie *Octopus insularis* coletados em Rio do Fogo no presente estudo apresentaram uma média de comprimento do manto (CM) superior ao tamanho mínimo de 11cm (~12cm) exigido pela legislação brasileira para a captura de polvos na pesca com espinhel de potes nas regiões norte e nordeste do Brasil (BRASIL, 2005). As faixas mais frequentes de comprimento total, comprimento do manto e peso total para machos e fêmeas, foram de 49 cm (CT), 11cm (CM) e 340g (PT). Considerando o comprimento do manto, 25,4% das fêmeas foram capturados com comprimentos inferiores a 11 cm e 25,9% para machos. Fêmeas apresentaram comprimentos e peso médio superiores a machos. Maiores tamanhos médios de fêmeas também foram relatados em trabalhos anteriores realizados no litoral norte do Rio Grande do Norte (Lima *et al.*, 2014b), padrão comum da população de polvos semélparos, visto que os machos tendem a ter menores tamanhos por atingirem a maturidade mais cedo que as fêmeas (Gonzalez-Gomez *et al.*, 2020; Boyle; Rodhouse, 2005), enquanto as fêmeas investem no crescimento somático em prol do desenvolvimento reprodutivo e acúmulo de reserva energética para o cuidado parental (Otero *et al.*, 2007).

Maiores comprimentos e pesos de fêmeas foram encontrados no estudo de Teixeira (2011) para *O. vulgaris*.

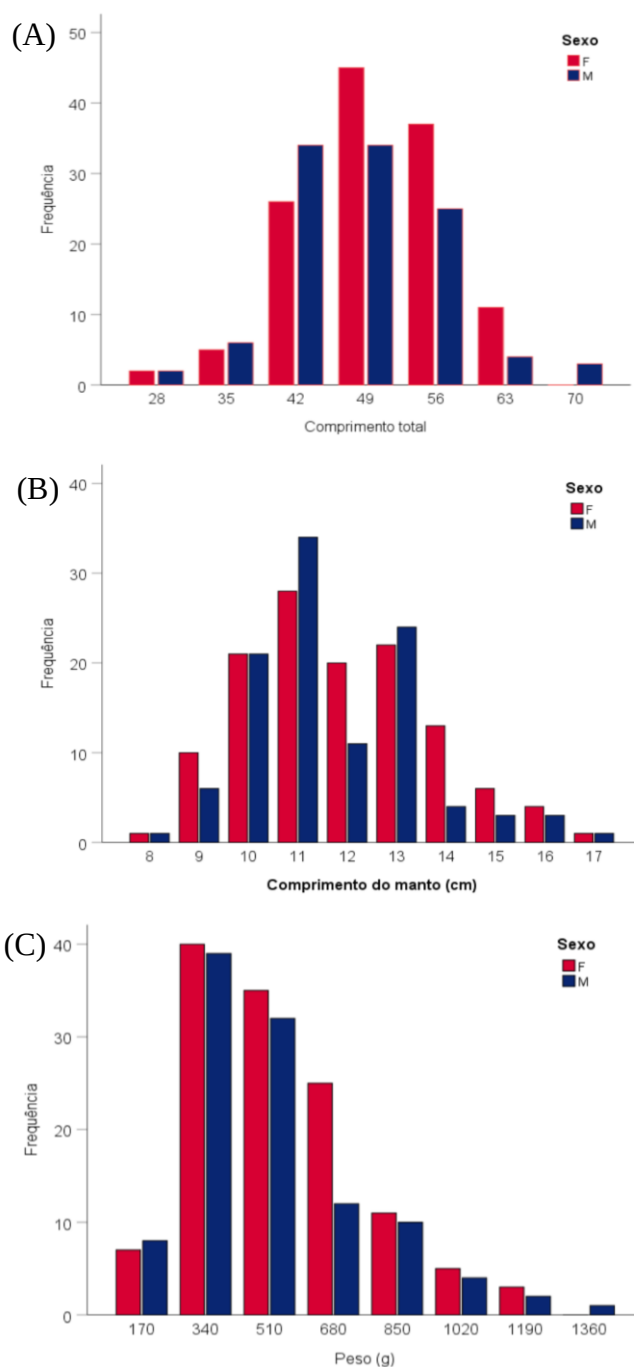


Figura 3. Distribuição de frequências de machos e fêmeas em relação ao comprimento total (A), comprimento do manto (B) e peso (C) de *O. insularis* capturados no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020.

2.3.2 Relação peso total e comprimento do manto

As relações entre peso e comprimento de machos e fêmeas apresentaram um bom ajuste ao modelo potencial (Figura 4), sendo estatisticamente significativas ($P < 0,001$). Segundo

esses modelos, fêmeas possuem um crescimento menos acentuado de peso em relação aos comprimentos, apresentando um coeficiente angular de 1,652 (Figura 4A). Já para machos, observou-se um crescimento semelhante do peso em relação ao comprimento do manto, resultando um coeficiente angular de 2,079 (Figura 4B).

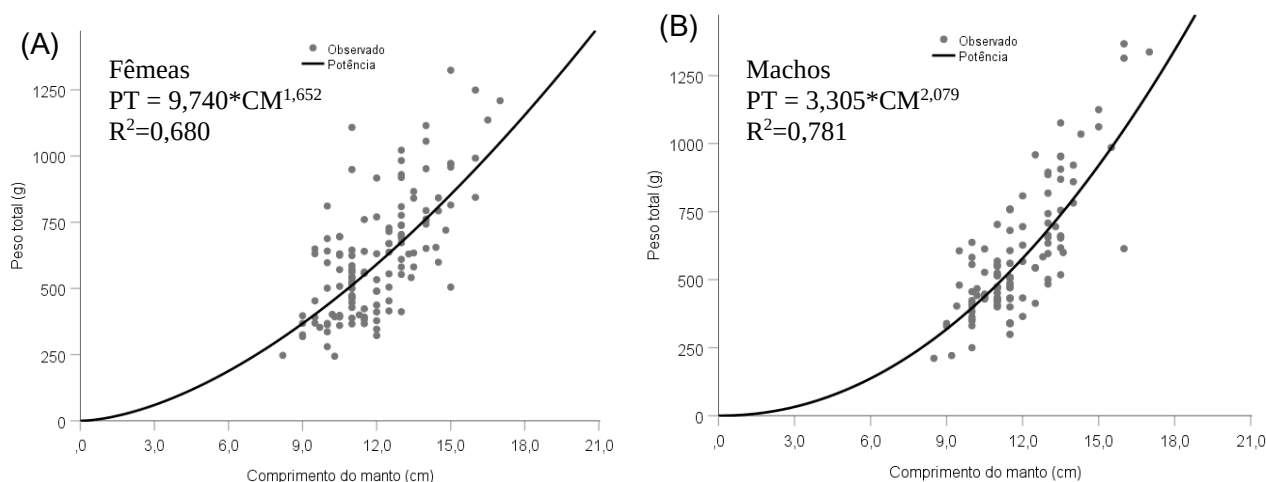


Figura 4. Relação entre o peso total (PT) e o comprimento do manto (CM) de fêmeas (A) e machos (B) de *O. insularis*.

A relação peso comprimento forneceu valores de coeficientes angulares semelhantes aos encontrados em outros estudos para a mesma espécie no nordeste do Brasil (Lima *et al.*, 2014; Batista, 2011), México (González-Gomez *et al.*, 2020) e para *O. vulgaris* no sudeste do Brasil (Teixeira, 2011) e Atlântico Norte (Otero *et al.*, 2007) variando de 1,7 a 2,6.

Para ambos os sexos, o comprimento do manto aumenta e o peso também, mas em uma taxa menor para as fêmeas. Apesar do crescimento mais acelerado dos machos em peso, foram observados maiores pesos e comprimento médios para as fêmeas. Isso explica as médias mais altas de comprimentos e peso para as fêmeas, decorrente do investimento reprodutivo que fortalece a base somática, permitindo o ganho de peso necessário para sustentar o período em que permanecem sem se alimentar durante o cuidado com a desova (Otero *et al.*, 2007). O padrão de crescimento entre machos e fêmeas foi semelhante para *O. insularis* na região de Rio do Fogo, segundo Lima *et al.* (2014b), entretanto os machos apresentaram coeficiente angular ligeiramente menor; no Ceará, um padrão semelhante ao presente estudo foi observado, onde os machos apresentaram crescimento mais acelerado em peso em relação às fêmeas (Batista, 2011).

Batista (2016) observou que as relações podem variar de acordo com o período chuvoso ou seco e entre sexos, indicando resultados semelhantes ao do presente estudo no período

chuvoso onde a taxa de crescimento das fêmeas ($b = 1,949$) foi menor em relação aos machos ($b = 2,206$), resultando em um amadurecimento tardio das fêmeas e maturação precoce dos machos.

2.3.3 Proporção sexual

Dos 234 espécimes examinados, 108 (46%) eram machos e 126 (54%) eram fêmeas, resultando em uma proporção sexual de $1,0\text{♂}:1,17\text{♀}$, sem diferença estatisticamente significativa ($\chi^2 = 0,59$; $p > 0,05$). Contudo, nos meses de março, julho e novembro, as fêmeas foram significativamente mais frequentes, enquanto que nos meses de agosto e setembro os machos foram estatisticamente predominantes ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Proporção sexual mensal de *O. insularis* capturado em Rio do Fogo no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020 ($n=234$).

Mês	Fêmeas (n)	Machos (n)	Fêmeas (%)	Machos (%)	χ^2
Janeiro	11	9	55,0	45,0	1,00
Fevereiro	9	8	52,9	47,1	0,35
Março	14	6	70,0	30,0	16,00*
Abril	10	10	50,0	50,0	0,00
Maio	11	8	57,9	42,1	2,49
Junho	10	10	50,0	50,0	0,00
Julho	14	6	70,0	30,0	16,00*
Agosto	8	12	40,0	60,0	4,00*
Setembro	7	11	38,9	61,1	4,94*
Outubro	10	10	50,0	50,0	0,00
Novembro	12	8	60,0	40,0	4,00*
Dezembro	10	10	50,0	50,0	0,00
Total	126	108	53,8	46,2	0,59

*Diferença significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

Estudos realizados sobre a mesma espécie no Nordeste do Brasil (Lima *et al.*, 2014b; Batista, 2011) e no México (Gonzalez-Gomez *et al.*, 2020) relataram proporções sexuais próximas a 1:1. No entanto, uma maior proporção de fêmeas de *O. insularis* (1,7:1) foi encontrada no Ceará (Batista *et al.*, 2021). Esta diferença pode ser atribuída à maior mortalidade ou maturação precoce de machos menores (Lima *et al.*, 2014b), à menor taxa de migração dos machos para águas mais profundas ou à vulnerabilidade dos machos às armadilhas, caracterizada pelo comportamento de cortejo de guarda (Huffard; Caldwell; Boneka *et al.*, 2008; Leite *et al.*, 2009).

2.3.4 Caracterização dos estágios maturacionais

A descrição macroscópica dos estágios maturacionais do polvo *Octopus insularis* está detalhada na tabela 3. Cada estágio maturacional apresenta características distintas, levando em consideração diversos parâmetros como tamanho, cor, textura, grau de desenvolvimento dos ovários nas fêmeas e grau de desenvolvimentos dos testículos, saco de Needham e espermatóforos nos machos. Para ambos os sexos, houve incremento do desenvolvimento dos ovários e testículos e saco de Needham em relação ao peso, do estágio imaturo até o estágio maduro, com diminuição logo após a desova.

Tabela 3. Caracterização macroscópica dos estágios maturacionais de fêmeas e machos de *O. insularis* capturado em Rio do Fogo no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020 (adaptado de Guerra (1975); Batista, (2011); e Lima *et al.*, (2014)).

Estágios	Fêmeas	Machos
I. Imaturo	Ovários muito pequenos, homogêneos e brancos. Glândulas oviducais pequenas e translúcidas. Peso médio do ovário: 0,36 g.	Testículos muito pequenos, homogêneos e branco translúcido. Ausência de espermatóforos no saco de Needham. Peso médio do trato reprodutor: 0,61 g.
II. Em maturação	Ligeira mudança na coloração para um tom amarelo-pálido, aumento no tamanho do ovário e aspecto granular fino. Ovidutos brancos. Aumento do diâmetro da glândula oviducal. Peso médio do ovário: 0,71 g.	Testículos brancos, ligeiramente maiores. Espermatóforos finos e pouco desenvolvidos envoltos por uma massa esponjosa dentro do saco de Needham. Peso médio do trato reprodutor: 1,66 g.
III. Maduro	Ovário grande amarelado, com abundância de ovócitos visíveis a olho nu pela membrana e facilmente desalojados do lúmen do ovário. Glândulas oviducais grandes com listras escuras. Ovidutos bem desenvolvidos e brancos. Peso médio de 1,94 g.	Testículos grandes, de coloração amarelada e aspecto homogêneo. Numerosos espermatóforos bem desenvolvidos dentro do saco de Needham. Aumento do peso do saco de Needham em relação ao peso do testículo. Peso médio do trato reprodutor: 3,40 g.
IV. Pós-desova	Ovários flácidos, com volume reduzido e poucos ovócitos em seu interior. Glândulas oviducais menores com listras escuras. Peso médio de 1,01 g.	Estrutura com tom amarelo-pálido. Testículos de tamanho reduzido, com poucos espermatóforos bem desenvolvidos no saco de Needham. bem desenvolvido. cremoso. Peso médio do trato reprodutor: 1,76 g.

O processamento histológico permitiu analisar o tecido dos órgãos reprodutores do polvo *O. insularis* durante o seu ciclo reprodutivo e, assim, identificar os tipos de células presentes em cada estágio. A descrição microscópica está detalhada na tabela 4.

Tabela 4. Caracterização microscópica dos estágios de desenvolvimento dos gametas de fêmeas e machos de *O. insularis* capturados em Rio do Fogo no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020 (adaptado de Lima *et al.* (2014); Sieiro, Otero e Guerra (2014); e Alejo Plata (2015)).

Estágios	Fêmeas	Machos
I. Imaturo	Muitas ovogônias (OG) aderidas ao epitélio germinativo. Presença de ovócitos primários (OP) redondos com núcleo grande e única camada de células foliculares (CF) basofílicas. Citoplasma basofílico. (IGS médio: 0,07)	Túbulos seminíferos pequenos, arredondados e definidos. Abundância de espermatogônias (EG) próximas à parede do túbulo. Presença de espermatócitos (EC), e espermátides (ED) em diferenciação no lúmen central. Ausência de espermatozoides (EZ). (IGS médio: 0,08)
II. Em maturação	Presença de numerosos ovócitos secundários pré-vitelogênicos (OS) de formato ovoide com núcleo grande no pólo animal. Há dupla camada externa de células foliculares. O tecido conjuntivo desenvolve um pedúnculo, deixando o ovócito suspenso e longe do tecido. Inicia a invaginação da dupla camada de células foliculares (CF) no interior do ovócito. Citoplasma eosinófilo devido ao acúmulo de vitelo. (IGS médio: 0,10)	Ocorrência de espermatogênese em todos os túbulos com todos os tipos de células presentes. Abundância de espermatócitos e espermátides. Volume aumentado devido à presença de espermatozoides maturando no lúmen de cada túbulo. (IGS médio: 0,13)
III. Maduro	Abundância de ovócitos vitelogênicos (OV) com diâmetro maior devido ao intenso acúmulo de vitelo. As dobras dos folículos são ativas na vitelogênese. Há a formação do córion. Núcleo não aparente. Citoplasma granular e eosinófilo. (IGS médio: 0,22)	Os túbulos seminíferos sofrem intenso estiramento e aumentam de tamanho. Todos os estágios da espermatogênese estão presentes. Espermatozoides abundantes no lúmen central. (IGS médio: 0,17)
IV. Pós-desova	Presença de ovócitos vitelogênicos em menor quantidade em relação ao estágio III e de folículos pós-ovulatórios (POFs). (IGS médio: 0,10)	Aparecimento de vazios nos canais espermáticos, com poucos espermatozoides presentes, indicando que foram expulsos dos testículos e armazenados nos espermatóforos do saco de Needham. Poucas células presentes nos túbulos. (IGS médio: 0,12)

O processo da ovogênese ocorre no interior do ovário. Embutidas no tecido conjuntivo, estão as células germinativas (ovogônias) e em desenvolvimento (ovócitos). As ovogônias são células germinativas pequenas, caracterizadas por apresentar caráter basófilo (Figura 5A). À medida que as ovogônias crescem, um núcleo grande se forma. Os ovócitos primários desenvolvem uma camada de células foliculares, estas células que circundam o ovócito permanecem ligadas ao tecido conjuntivo através de um pedúnculo durante o seu crescimento. Ovócitos secundários são observados com dupla camada de células foliculares (Figura 5B). Os ovócitos vitelogênicos são caracterizados pelo intenso acúmulo de vitelo, de caráter eosinófilo. Ademais, ocorrem dobras foliculares, ou seja, invaginações das células foliculares para o interior do ovócito. Os ovócitos maduros aparecem preenchidos com vitelo, sem núcleo aparente, dobras foliculares reduzidas e formação do córion (Figura 5C). O estágio pós-

desova é caracterizado pela presença de ovócitos maduros e folículos pós-ovulatórios (Figura 5D). Foi possível identificar a ocorrência de mais de um tipo de célula em cada estágio caracterizando um desenvolvimento assíncrono como já relatado em estudos anteriores para a mesma espécie (Lima *et al.*, 2014a) e para o *O. hubbsorum* (Alejo-Plata; Gómez-Márquez, 2015). Essa ocorrência pode ser interpretada como uma estratégia reprodutiva adotada pelos polvos para maximizar o sucesso reprodutivo da espécie, sugerindo que a desova ocorre de maneira repetida durante um único evento reprodutivo (Lima *et al.*, 2014a; Idrissi *et al.*, 2006).

O processo de espermatogênese é observado no interior do testículo, órgão reprodutor composto por numerosos túbulos seminíferos compactados separados por uma fina camada do tecido conjuntivo. A maturação dos espermatozoides ocorre da membrana para o lúmen, na região central. Dessa forma, são visíveis as espermatogônias próximas à parede do túbulo e os espermatozoides em direção ao lúmen. No estágio imaturo, as espermatogônias, células grandes de caráter basófilo, se desenvolvem em espermatócitos e, em seguida, em espermatídes (Figura 5E). As espermatídes, por sua vez, se diferenciam em espermatozoides, células alongadas constituídas por uma cabeça (caráter basófilo) e uma cauda de caráter eosinófilo (Figura 5F). À medida que a célula amadurece, os espermatozoides se acumulam aumentando o túbulo de tamanho (Figura 5G). Deixando grandes vazios após a expulsão dos espermatozoides do testículo para os espermatóforos no saco de Needham (Figura 5H).

O desenvolvimento gonadal do *O. insularis* foi semelhante para espécies do mesmo gênero como *O. vulgaris* (Sieiro; Otero; Guerra, 2014), *O. hubbsorum* (Alejo-Plata; Gómez-Márquez, 2015) e *O. maya* (Avila-Poveda; Colin-Flores; Rosas, 2009).

A análise histológica do presente estudo foi baseada em 3 diferentes escalas de estágios de maturação propostas por Sieiro, Otero e Guerra (2014) para *O. vulgaris* (7 microestágios para fêmeas), por Lima *et al.* (2014a) para *O. insularis* (4 para fêmeas e machos) e por Alejo-Plata; Gómez-Márquez (2015) para *O. hubbsorum* (6 microestágios para fêmeas e 4 microestágios para machos). Embora as metodologias utilizadas apresentem variações nos critérios utilizados, a adaptação da escala de estágios proposta no presente estudo para ambos os sexos foi equivalente entre os estágios macroscópicos e microscópicos devido a presença de células características em cada fase maturacional.

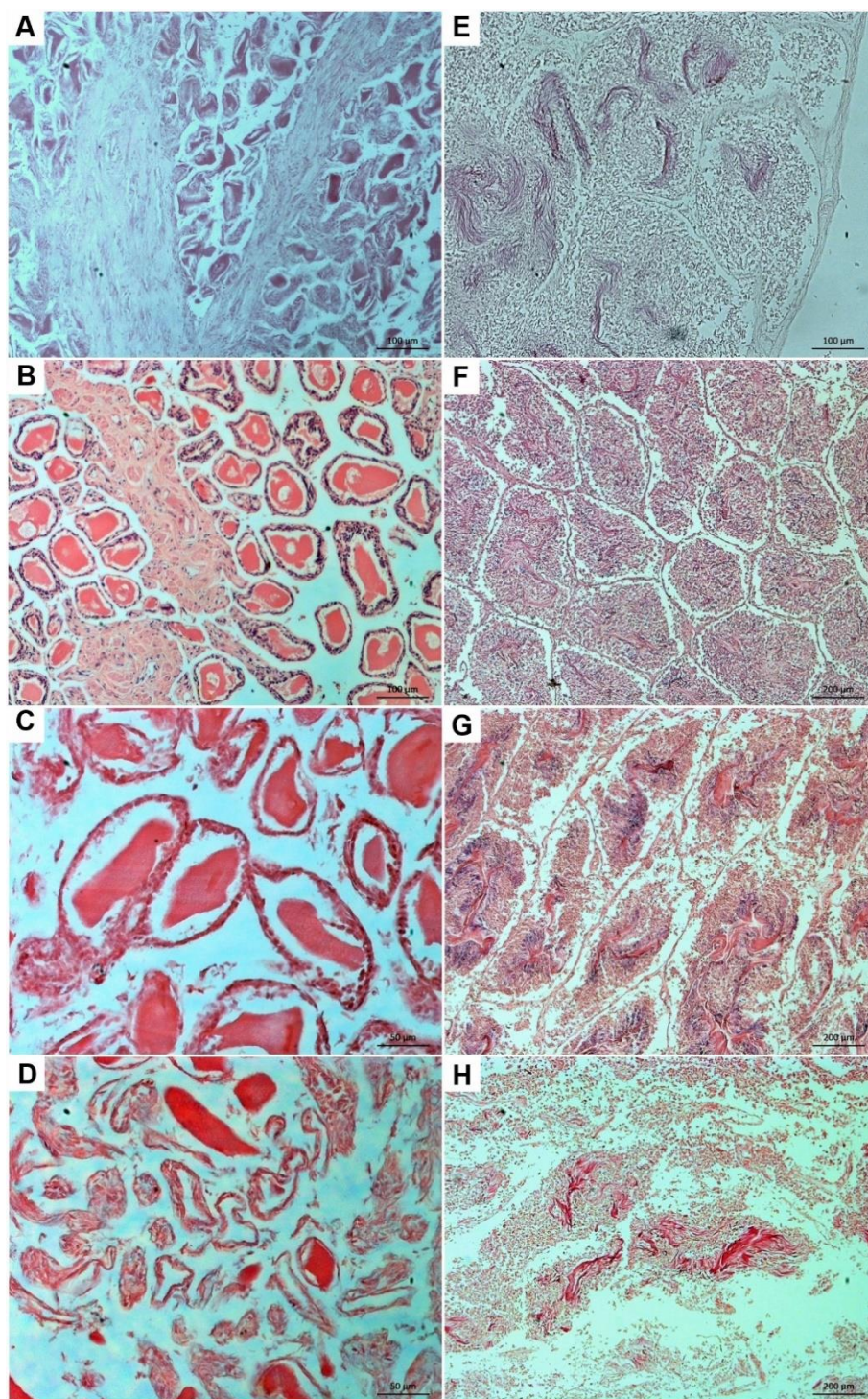


Figura 5. Seção histológica de ovários (A – D) e testículos (E – H) de *Octopus insularis* em diferentes estágios de desenvolvimento. **A-** Fêmea imatura com ovogônias (OG) aderidas ao tecido conjuntivo (TC). **B-** Fêmea em maturação com: ovócitos primários (OP), ovócitos secundários (OS), pedúnculo (PE) e células foliculares (CF). **C-** Fêmea madura com ovócitos vitelogênicos (OV) e formação do córion (C). **D-** Fêmea pós-desova com folículos pós-ovulatórios (POFs) e poucos ovócitos maduros. **E-** Macho imaturo com pequenos e organizados túbulos seminíferos (TS). **F-** Macho em maturação com todos os estágios da espermatogênese presentes: espermatogônia (EG), espermatócito (EC), espermatíde (ES) e espermatozóide (EZ). **G-** Macho maduro com abundância de espermatozoides nos túbulos seminíferos. **H.** Macho pós-desova apresentando vazios nos túbulos e poucos espermatozoides (EZ)

2.3.5 Índice gonadosomático (IGS) para machos e fêmeas

Os valores médios do índice gonadosomático (IGS) apresentaram diferenças significativas ao longo do ano ($p < 0,001$), com variação de 0,07 a 0,18 para as fêmeas e de 0,09 a 0,23 para os machos. Em relação aos meses do ano apresentaram as maiores médias em janeiro e fevereiro, com tendência de queda até abril, voltando a aumentar em julho (Figura 6). Estes resultados sugerem uma atividade reprodutiva mais intensa do polvo *Octopus insularis* na região costeira de Rio do Fogo no início do primeiro semestre, especificamente no mês de janeiro, com valores menos acentuados ocorrendo em junho-julho e setembro-outubro.

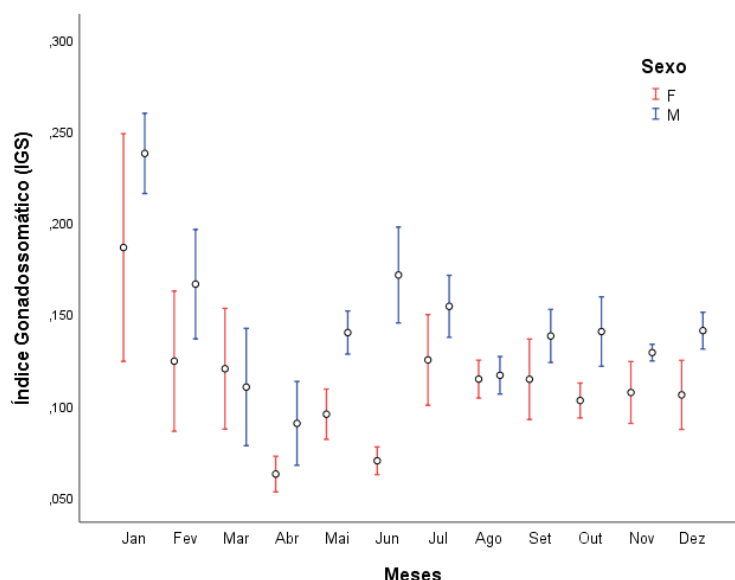


Figura 6. Valores médios mensais do índice gonadosomático (IGS) para fêmeas e machos de *Octopus insularis*, capturados no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2020.

Lima *et al.* (2014b) conduziram coletas para estudos de biologia reprodutiva da espécie entre 2009 e 2011 em Rio do Fogo, identificando que a população apresentou picos de maturação com duração de 3 meses, ocorrendo em intervalos de 7 a 10 meses. Os picos de IGS médios registrados foram observados em fevereiro e setembro de 2011 e em novembro de 2010, sendo similares aos encontrados no presente estudo.

O IGS, que relaciona o peso da gônada ao peso do corpo, tende a aumentar com a maturação. Os resultados apresentados para machos e fêmeas mostraram boa correspondência com estudos gerais (Figura 7), demonstrando uma progressão de valores com pico no estágio maduro e uma redução no pós-desova, semelhantes aos resultados apresentados por Lima (2012).

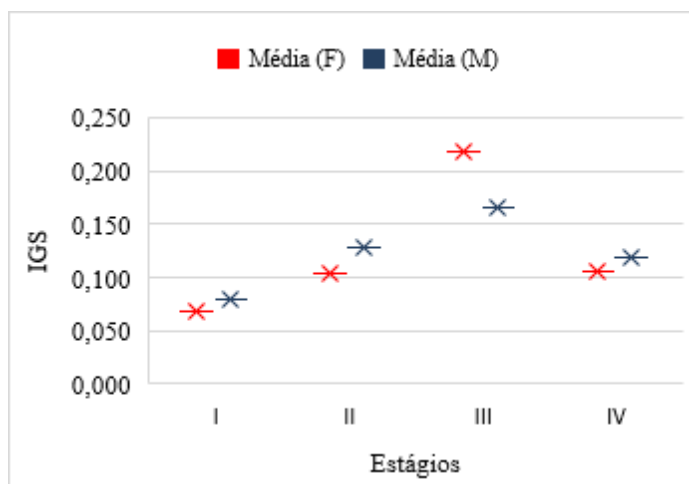


Figura 7. Variação dos índices gonadosossômicos de machos e fêmeas em relação aos estágios de maturação.

O modelo GLM estabelecido indicou que as variações do IGS são estatisticamente significativas em relação ao sexo, aos meses do ano e ao peso total (Tabela 5). Segundo esse modelo, os maiores valores esperados de IGS são em janeiro, fevereiro, março, maio e outubro (Figura 8).

Tabela 5. Sumário do modelo GLM para o índice gonadosossômico em relação ao sexo, ao mês e ao peso total individual de *O. insularis* explorado em Rio do Fogo (RN).

Parâmetros	Intervalo de Confiança 95%				gl	P
	B	Erro Padrão	Inferior	Superior		
Intercepto	0,122	0,0168	0,089	0,155	1	<0,001
[Sexo=F]	-0,036	0,0103	-0,057	-0,016	1	<0,001
[Sexo=M]	–	–	–	–	–	–
Mês	-0,005	0,0015	-0,007	-0,002	1	<0,001
PT (g)	0,00009	0,00002	0,00004	0,00013	1	<0,001

De acordo com Lima *et al.* (2014b), as análises de Modelos Lineares Generalizados (GLM) revelaram um forte aumento da maturidade sexual dos polvos na estação mais fria e com mais ventos. Esse fenômeno pode ser explicado pela aceleração da maturação em águas turvas, resultante da turbulência dos ventos e da baixa penetração de luz (Boyle; Rodhouse, 2005). A maturação sexual dos polvos é regulada pelo hormônio gonadotrófico, produzido pela glândula óptica, cuja produção é inibida pela luz (Iwakoshi-Ukena *et al.*, 2004).

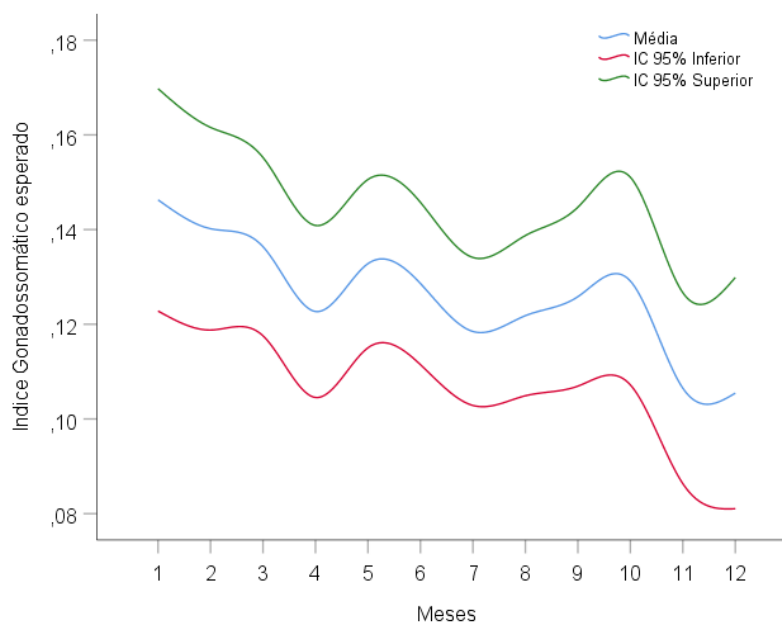


Figura 8. Valores esperados médios e intervalo de confiança do IGS para o modelo GLM estabelecido em relação aos meses do ano, para *O. insularis* explorado em Rio do Fogo (RN).

As análises de GLM do presente estudo também indicaram um maior desenvolvimento gonadal durante o primeiro semestre, que corresponde ao início do período chuvoso no Rio Grande do Norte. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o ano de 2020 mostraram que os meses de janeiro a julho foram os mais chuvosos, com picos em março, junho e julho, coincidindo com os maiores valores de Índice Gonadosomático (IGS) nos polvos capturados. Essa correlação entre os fatores climáticos e o desenvolvimento reprodutivo de *Octopus insularis* destaca a importância de considerar variáveis ambientais na gestão e conservação dessa espécie, sugerindo que mudanças sazonais influenciam significativamente os ciclos reprodutivos dos polvos.

2.3.6 Frequência dos estágios maturacionais

De acordo com a análise macroscópica dos ovários confirmadas a partir da análise histológica, foram observados quatro estágios de maturação nas fêmeas (n=126): imaturo (n=36; 28,6%), em maturação (n=59; 46,8%), maduro (n=20; 15,9%) e pós-desova (n=11; 8,7%). E, para os machos, foram observados quatro estágios de maturação: imaturo (n=15; 13,9%), em maturação (n= 39; 36,1%), maduro (n= 41; 38%) e pós-desova (n= 13; 12%). A distribuição mensal destes estágios para machos e fêmeas pode ser visualizada na figura 9 (A e B).

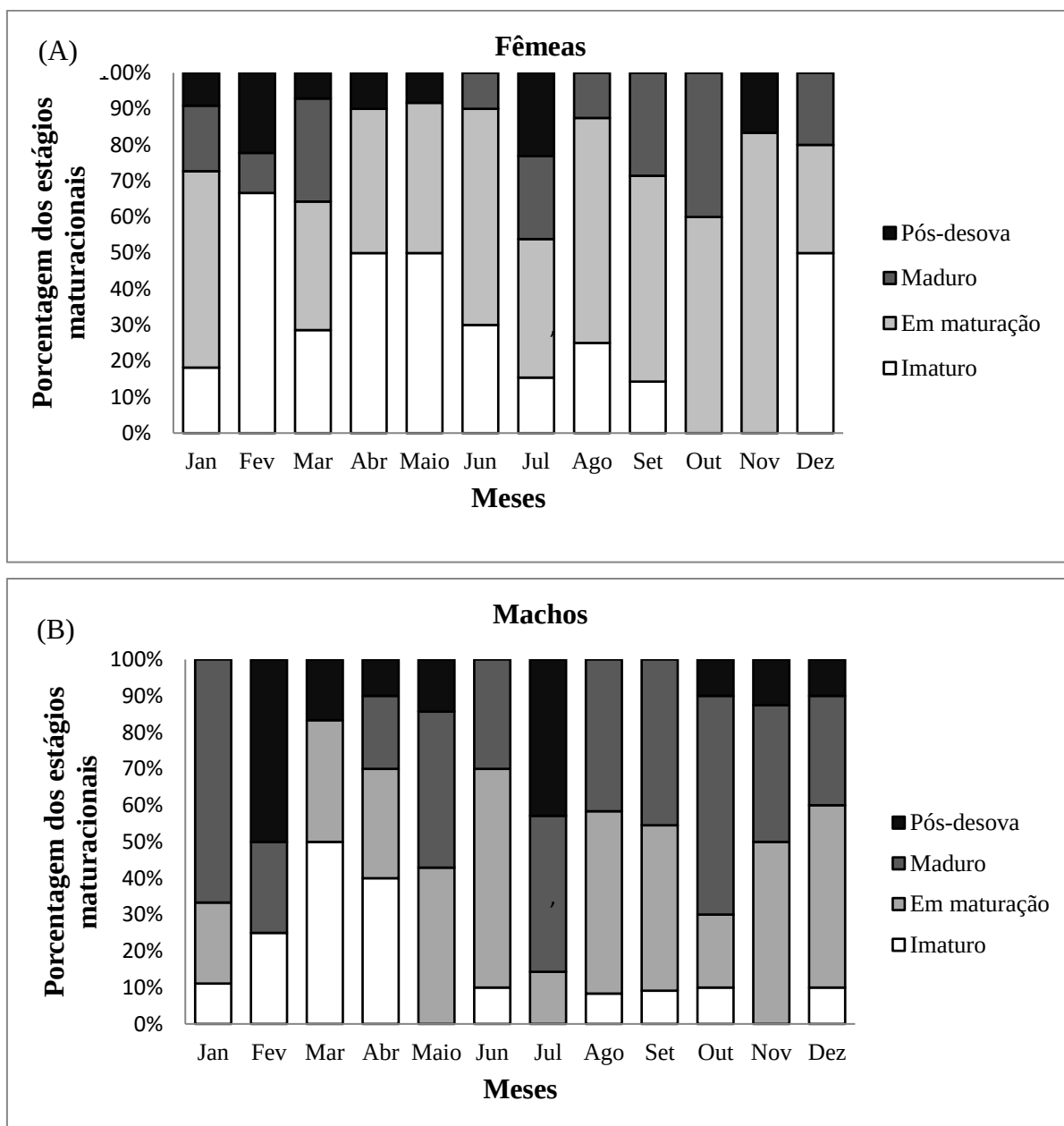


Figura 9. Distribuição mensal de frequência dos estágios de maturação (análise histológica) para fêmeas (A) e machos (B) de *O. insularis* (n=120).

Embora a atividade reprodutiva de *O. insularis* possa ser classificada com base nos valores do IGS, a representação do ciclo reprodutivo é aprimorada ao incluir a frequência mensal dos estágios maturacionais. O desenvolvimento ovariano indicou a presença de fêmeas imaturas durante todo o ano, exceto em outubro e novembro. Fêmeas em maturação foram observadas ao longo do ano, com maior abundância no segundo semestre, no período de agosto a novembro. Fêmeas maduras apresentaram atividade intensa nos meses de março, julho e outubro. Fêmeas em pós-desova foram capturadas nos períodos de janeiro a maio, julho e novembro (Fig. 9A). Em relação aos machos, os imaturos e em maturação foram frequentemente capturados ao longo do ano, com uma maior incidência de machos imaturos

em março e de machos em maturação em maio e junho. Machos maduros estiveram presentes durante todo o ano, com alta frequência de ocorrência em janeiro e no período de julho a dezembro (Fig. 9B), que coincidiram com valores de IGS elevados. Os machos em pós-desova foram frequentes de fevereiro a maio, em julho e de outubro a dezembro, ocorrendo após picos de intensa atividade reprodutiva.

2.3.7 Curva de primeira maturação (L_{50} e P_{50})

Os modelos de regressão não linear para o comprimento de primeira maturação para machos e fêmeas apresentaram ajustes razoáveis ao modelo logístico, apresentando regressões estatisticamente significativas ($P < 0,001$), com coeficientes de determinação R^2 de 0,807 para machos e 0,834 para fêmeas (Tabela 6; Figura 10).

Tabela 6. Sumário do modelo de regressão não linear para o comprimento de primeira maturação (L_{50}) de machos e fêmeas de *O. insularis* (Bootstrap baseado em 30 reamostragens).

L_{50} Machos	Parâmetro	Estimativa	Erro	Intervalo de confiança de 95%		95% do intervalo	
				Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
Assintótico	a	0,824	0,207	0,38	1,268		
	b	11,46	0,319	10,776	12,145		
Bootstrap ^{a,b}	a	0,824	0,579	-0,361	2,009	0,4	3,743
	b	11,46	0,346	10,753	12,168	10,937	12,184
L_{50} Fêmeas	Parâmetro	Estimativa	Erro	Intervalo de confiança de 95%		95% do intervalo	
				Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
Assintótico	a	0,677	0,142	0,373	0,981		
	b	13,672	0,322	12,985	14,359		
Bootstrap ^{a,b}	a	0,677	0,135	0,4	0,954	0,422	1,082
	b	13,672	0,413	12,828	14,517	13,087	14,818

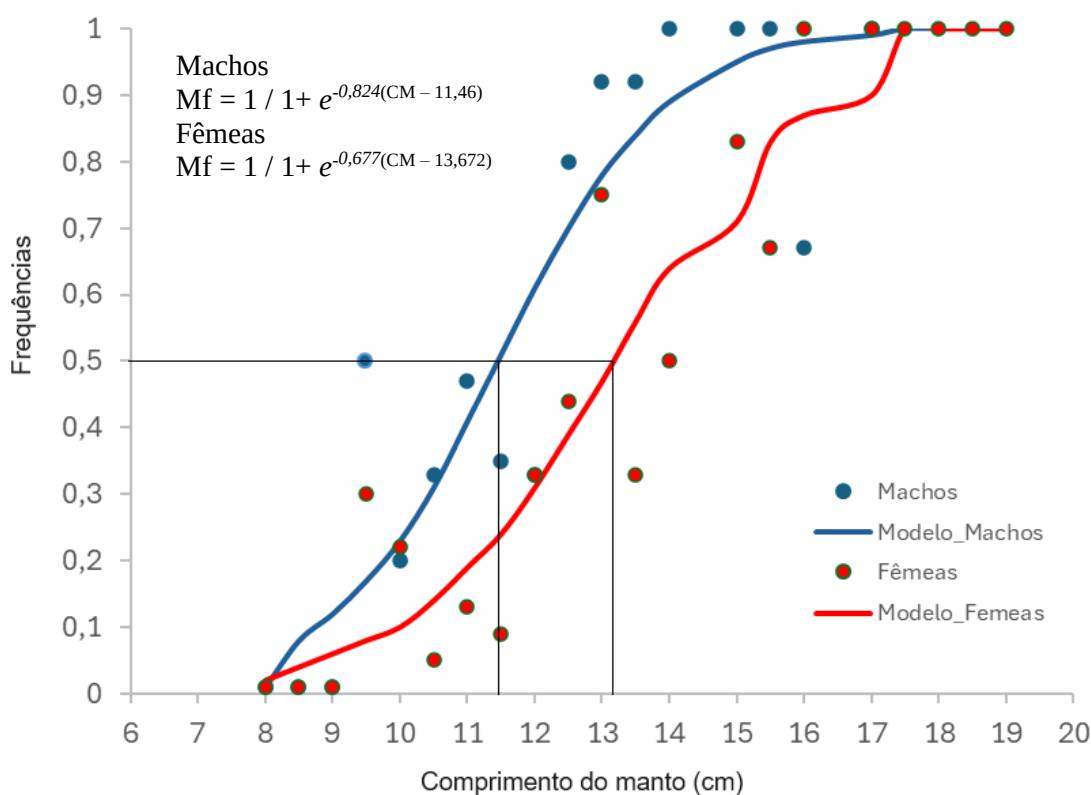


Figura 10. Modelos logísticos para o comprimento de primeira maturação sexual (L_{50}) para machos e fêmeas de *O. insularis*.

Considerando os estágios III e IV, foi possível estimar os tamanhos (L_{50}) e pesos (P_{50}) de primeira reprodução para machos como 11,46 cm - 526g, e para fêmeas, 13,67 cm - 732 g. Os machos amadureceram em um tamanho menor do que as fêmeas, comportamento observado para a mesma espécie no Brasil (Batista, 2011; Lima *et al.*, 2014a) e no México (González-Gómez *et al.*, 2020), para *Octopus vulgaris* no Nordeste do Atlântico (Otero *et al.*, 2007) e para *O. hubbsorum* e *O. maya* no México (Alejo-Plata; Gómez-Márquez, 2015; Avila-Poveda *et al.*, 2016). Esses resultados refletem a redução do crescimento somático dos machos por conta do desenvolvimento reprodutivo, enquanto as fêmeas acumulam energia para o cuidado parental (Boyle; Rodhouse, 2005; Mather; Anderson; Wood, 2010).

No Brasil, a regulamentação pesqueira para polvos segue critérios estabelecidos por pesquisas baseadas na espécie *Octopus vulgaris*, utilizando espinhel de potes, uma prática predominante nas regiões Sul e Sudeste (IBAMA, 2008; Sauer *et al.*, 2021). Embora *Octopus insularis* tenha sido descrita em 2008, evidenciando diferenças entre as duas espécies, a regulamentação permaneceu sem atualização quanto ao tamanho mínimo de captura ou medidas de gestão para a pesca de pequena escala. O comprimento mínimo para captura de polvos no Brasil é de 11 cm (Brasil, 2005). No entanto, o estudo de Teixeira (2011) sobre a

biologia reprodutiva de *O. vulgaris* no Sul do Brasil aponta que a biometria em animais vivos é inviável, sugerindo, em vez disso, a utilização do peso total como uma ferramenta mais eficiente. Em Rio do Fogo, Lima *et al.* (2014b) estimaram tamanhos e pesos de primeira maturação para *O. insularis* de 6 cm – 215,2 g para machos e 9 cm – 493,7 g para fêmeas, sendo valores inferiores aos obtidos neste estudo. Em contrapartida, no México, a população da mesma espécie apresentou tamanhos de 9 cm – 590 g para machos, e 10,8 cm – 870 g para fêmeas (Gonzalez-Gomez *et al.*, 2020), sendo os pesos de primeira reprodução similares aos obtidos no presente estudo.

Os maiores tamanhos de primeira reprodução registrados no presente estudo, em comparação ao estudo de Lima *et al.* (2014), podem ser atribuídos ao uso de diferentes metodologias no cálculo do L_{50} . No presente estudo, foram considerados indivíduos maduros e desovados, dado que a espécie se reproduz apenas uma vez. Em contraste, o estudo de Lima *et al.* (2014) incluiu indivíduos em desenvolvimento, o que pode ter reduzido o tamanho de primeira maturação observado. Além disso, fatores como o rápido crescimento, a reprodução ao longo de todo o ano e o mercado limitado de polvos reforçam a alta resiliência do polvo *Octopus insularis*, conforme observado por Batista *et al.* (2021) no Ceará.

Apesar destes resultados indicarem tamanhos de primeira reprodução superiores ao tamanho mínimo de captura de 11 cm, não se pode descartar a necessidade de revisar a regulamentação atual. É crucial considerar a implementação de tamanhos mínimos de captura diferenciados entre os sexos e estabelecer critérios específicos para cada espécie de ocorrência no Brasil, além de estudos complementares com tamanho amostral maior de modo a contribuir para a preservação dos estoques naturais.

2.3.8 Proporção entre jovens e adultos

De acordo com o tamanho de primeira maturação (L_{50}) estimado para as amostras, a maioria dos ovários e testículos analisados foram de indivíduos jovens (62,8%), com 19% das fêmeas e 58,3% dos machos avaliados apresentando características reprodutivamente ativas (Tabela 7 e 8).

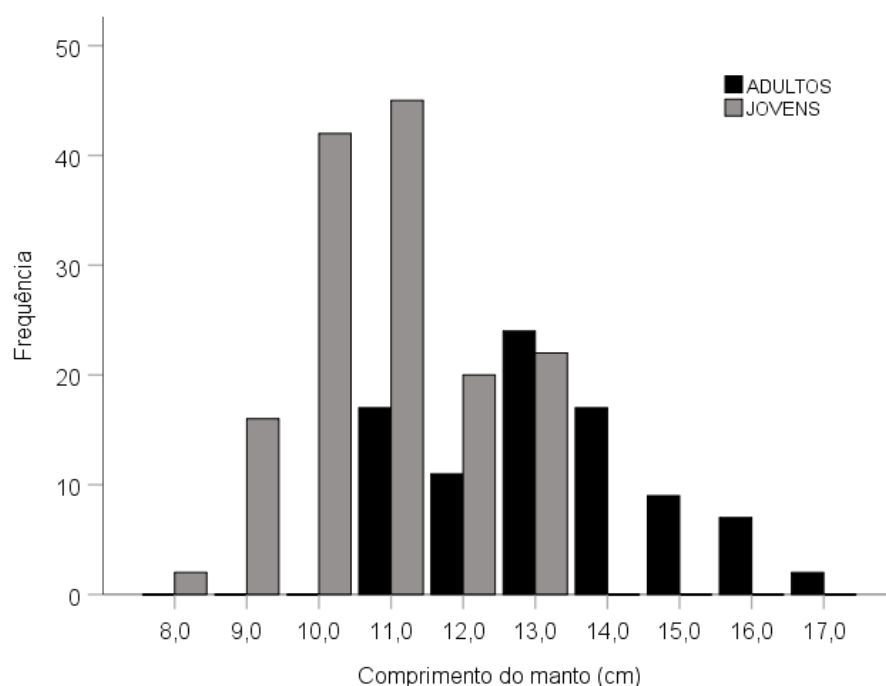
Tabela 7. Proporção entre jovens e adultos estimado para o total de amostras de *O. insularis*.

Fase	Frequência	Frequência (%)
ADULTOS	87	37,2
JOVENS	147	62,8
Total	234	100,0

Tabela 8. Proporção entre jovens e adultos de machos e fêmeas de *O. insularis*.

Sexo	Fase	Frequência	Frequência %
F	ADULTOS	24	19,0
	JOVENS	102	81,0
	Total	126	100
M	ADULTOS	63	58,3
	JOVENS	45	41,7
	Total	108	100

As representações gráficas da proporção entre jovens e adultos com o comprimento do manto e peso total de *O. insularis* se encontram nas figuras 11 e 12.

Figura 11. Distribuição de frequência do comprimento do manto entre jovens e adultos de *O. insularis*.

A análise da população de *Octopus insularis* indica uma predominância de capturas de indivíduos jovens, com maior frequência nas classes de tamanho de 10-11 cm de comprimento e 300-450 g de peso. Este padrão de captura pode estar relacionado à ausência de regulamentações adequadas que considerem as especificidades biológicas e ecológicas dessa espécie. O tamanho mínimo de captura de 11cm, previsto na regulamentação pesqueira no Brasil, pode não ser suficiente para garantir a sustentabilidade da população de *O. insularis*.

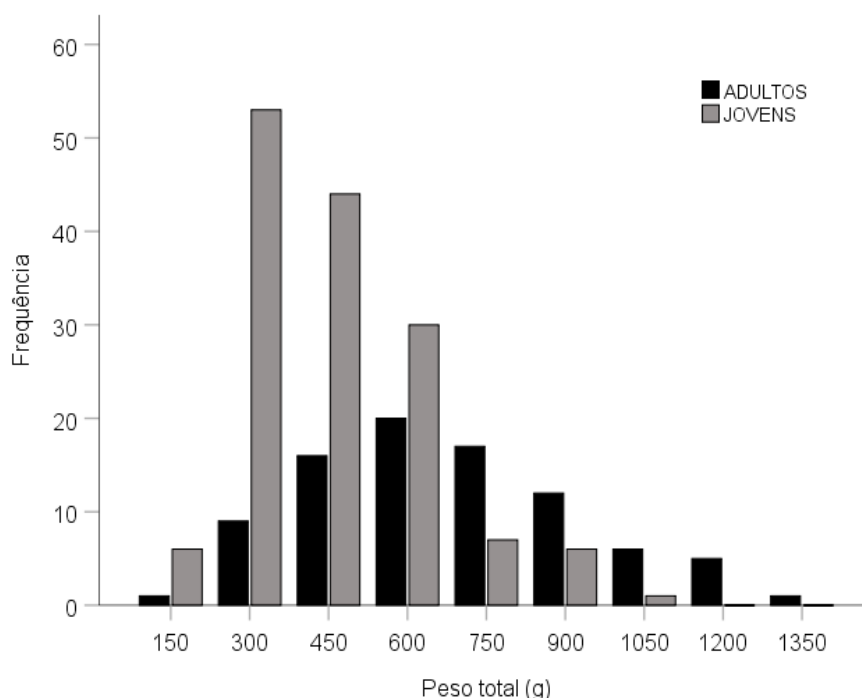


Figura 12. Distribuição de frequência de pesos de jovens e adultos de *O. insularis*.

Dada a alta incidência de indivíduos jovens nas capturas, é crucial revisar o tamanho mínimo de captura e considerar a implementação de um peso mínimo para assegurar que os polvos alcancem a maturidade sexual antes de serem pescados. Esta abordagem dupla pode proporcionar uma proteção mais robusta para a população de *O. insularis* e promover a sustentabilidade a longo prazo da pesca.

Apesar da resiliência natural da espécie devido ao rápido crescimento e reprodução contínua (Batista *et al.*, 2021), a pressão pesqueira sobre indivíduos imaturos pode ameaçar essa resiliência. Portanto, revisar as práticas de manejo e regulamentação é essencial para equilibrar a exploração econômica com a conservação da espécie.

2.4. CONCLUSÃO

O presente estudo contribui significativamente para a atualização do conhecimento sobre a biologia reprodutiva de *O. insularis*. As informações obtidas sobre o tempo necessário para a maturação sexual, os períodos de reprodução, e as estratégias reprodutivas serão essenciais para o desenvolvimento de medidas de gestão eficazes. A implementação de tamanhos mínimos de captura diferenciados entre os sexos e a adoção de critérios específicos para cada espécie são medidas necessárias para revisão da regulamentação pesqueira atual. Além disso, estudos adicionais são necessários para entender melhor a dinâmica populacional e os fatores ambientais

que afetam a população de polvo *O. insularis*. Esses dados ajudarão a formular políticas de gestão mais eficazes, alinhadas às melhores práticas de conservação e uso sustentável dos recursos marinhos.

REFERÊNCIAS

- ALEJO-PLATA, María C.; GÓMEZ-MÁRQUEZ, José Luis. Reproductive biology of *Octopus hubbsorum* (Cephalopoda: Octopodidae) from the coast of Oaxaca, Mexico. **American Malacological Bulletin**, v. 33, n. 1, p. 89-100, 2015.
- ANADÓN, Ramón. Functional histology: the tissues of common coleoid cephalopods. **Handbook of pathogens and diseases in cephalopods**, p. 39-85, 2019.
- ARKHIPKIN AI, HENDRICKSON LC, PAYÁ I, PIERCE GJ, ROA-URETA RH, ROBIN JP AND WINTER A. Stock assessment and management of cephalopods: advances and challenges for short-lived fishery resources. **ICES Journal of Marine Science** 78, 714–730. 2020.
- AVILA-POVEDA, Omar Hernando; COLIN-FLORES, Rafael Francisco; ROSAS, Carlos. Gonad development during the early life of *Octopus maya* (Mollusca: Cephalopoda). **The Biological Bulletin**, v. 216, n. 1, p. 94-102, 2009.
- AVILA-POVEDA, O. H.; KOUETA, N.; BENÍTEZ-VILLALOBOS, F.; SANTOS-VALENCIA, J.; ROSAS, C. Reproductive traits of *Octopus maya* (Cephalopoda: Octopoda) with implications for fisheries management. **Molluscan Research**, 36(1), 29-44. 2016.
- BATISTA, Bruno Braulino. **Estimativa da idade do polvo, *Octopus insularis* capturado com espinhel de potes no Ceará, relacionada com os estágios de maturação gonadal**. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará – UFC]. 2011. Repositório. <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/18239>
- BATISTA, Bruno Braulino. **Influence of variable environmental on population structure and reproductive biology focused on spermatophores of *Octopus insularis***. [Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará – UFC]. 2016. Repositório. https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=2991395.
- BATISTA, B. B.; MATTHEWS-CASCON, H.; MARINHO, R. A.; KIKUCHI, E.; HAIMOVICI, M. The growth and population dynamics of *Octopus insularis* targeted by a pot longline fishery in north-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 101(6), 935-946. 2021.
- BRASIL. **Instrução Normativa SEAP/PR no 3, de 26 de abril de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília. 2005.
- BOYLE, P. R.; RODHOUSE, P. G. **Cephalopods. Ecology and Fisheries**. Oxford, Blackwell Publishing. 452p. 2005.
- FAO. (2020). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020**. Sustainability in action. Rome, Italy. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229en>
- GONZALEZ-GOMEZ, R.; MEINERS-MANDUJANO, C.; MORILLO-VELARDE, P. S.; JIMENEZ-BADILLO, L.; MARKAIDA, U. Reproductive dynamics and population structure

of octopus *insularis* from the veracruz reef system marine protected area, Mexico. **Fisheries Research**, 221, 105385, 2020.

GUERRA, A. Determinación de las diferentes fases del desarrollo sexual de *Octopus vulgaris* Lamarck, mediante un índice de madurez. **Investigation Pesquera**, 39 (2). 397-416, 1975.

HADDON, M. Modeling and Quantitative Methods in Fisheries. Chapman and Hall/CRC, Florida. 2001.

HAIMOVICI, M., LEITE, T. S., MARINHO, R. A., BATISTA, B., MADRID, R. M., OLIVEIRA, J. L., & SUNYE, P. F. As pescarias de polvos do nordeste do Brasil. **A Pesca Marinha E Estuarina no Brasil: Estudos de Caso**. Rio Grande, RS: Editora da FURG, 147-160. 2014.

HELSER, TE, AE PUNT, & RD METHOT. A generalized linear mixed model analysis of a multi-vessel fishery resource survey. **Fisheries Research**, 70 : 251-264. 2004.

HUFFARD C.L.; CALDWELL R.L.; BONEKA F. Mating behavior of *Abdopus aculeatus* (d'Orbigny 1834) (Cephalopoda: Octopodidae) in the wild. **Marine Biology** 154, 353–362. 2008.

IDRISSI, F. H.; KOUETA, N.; IDHALLA, M.; BELGHYTI, D.; BENCHERIFI, S. Les modalités du cycle sexuel du poulpe *Octopus vulgaris* du Sud marocain (Tantan, Boujdour). **Comptes rendus. Biologies**, 329 (11), 902-911. 2006.

Instituto Nacional de meteorologia (INMET). Disponível em: www.tempo.inmet.gov.br/Graficos/A001. Acesso: 29 jul. 2024.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA. **Estatística da pesca 2006 Brasil: grandes regiões e unidades da federação**. MMA, 174 p., Brasília. 2008.

IWAKOSHI-UKENA, E.; UKENA, K.; TAKUWA-KURODA, K.; KANDA, A.; TSUTSUI, K.; MINAKAT, H.; Expression and distribution of octopus gonadotropin-releasing hormone in the central nervous system and peripheral organs of the octopus *Octopus vulgaris* by in situ hybridization and immunohistochemistry. **J. Comp. Neurol**, 477 (3), 310-323. 2004.

LEITE, T. S.; HAIMOVICI, M.; MOLINA, W.; WARNKE, K. Morphological and genetic description of *Octopus insularis*, a new cryptic species in the *Octopus vulgaris* complex (Cephalopoda: Octopodidae) from the tropical southwestern Atlantic. **J. Mollus. Stud.**, v. 74, n. 1, p. 63-74, 2008

LEITE, T. S.; HAIMOVICI, M.; MATHER, J.; LINS, J. E. O. Habitat, distribution, and abundance of the commercial octopus (*Octopus insularis*) in a tropical oceanic island, Brazil: information for management of an artisanal fishery inside a marine protected area. **Fisheries Research** 98: 85–91. 2009.

LIMA, Françoise Dantas. **Estrutura populacional e aspectos reprodutivos do *Octopus insularis* Cephalophoda: Octopodidae: implicações para o manejo da pesca de polvo no município de Rio do Fogo – RN**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio

Grande do Norte, 2012.

LIMA, Françoise D. *et al.* Gonadal development and reproductive strategies of the tropical octopus (*Octopus insularis*) in northeast Brazil. **Hydrobiologia**, v. 725, p. 7-21, 2014a.

LIMA, Françoise D. *et al.* Population structure and reproductive dynamics of *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae) in a coastal reef environment along northeastern Brazil. **Fisheries Research**, v. 152, p. 86-92, 2014b.

MATHER, J.A.; ANDERSON, R. C.; WOOD, J. B. **Octopus: The Ocean's Intelligent Invertebrate**. Timbe press, Portlant. 2010.

MAUNDER, M.N., A.E., PUNT. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches **Fish. Res.** 70, 141-149. 2004.

MCCULLAGH, P., NELDER, J. A. **Generalized Linear Models**, 2nd. ed. Chapman and Hall, London, 1989.

NELDER J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, pages 370–384, 1972. 7, 9, 19, 27, 28, 56, 1972.

OTERO, J.; GONZÁLEZ, A. F.; SIEIRO, M.O.; GUERRA, A., Reproductive cycle and energy allocation of *Octopus vulgaris* in Galician waters, NE Atlantic. **Fisheries Research**, 85: 122-129, 2007.

SANTOS, E.P. **Dinâmica de populações aplicada à pesca e piscicultura**. HUCITEC, EDUSP, São Paulo. 129p, 1978.

SAUER, Warwick HH *et al.* World octopus fisheries. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 29, n. 3, p. 279-429, 2021.

SIEIRO, Pilar; OTERO, Jaime; GUERRA, Angel. Contrasting macroscopic maturity staging with histological characteristics of the gonads in female *Octopus vulgaris*. **Hydrobiologia**, v. 730, p. 113-125, 2014.

TEIXEIRA, Penélope Bastos. **Biologia reprodutiva do polvo *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797) no sul do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura, Florianópolis, 2011.

VASCONCELOS, J. A. A pesca de polvo no Rio Grande do Norte. **Polvo News**, v. 4, n. 3, 2008.

VENABLES, W.N.; DICHMONT, C.M. A generalized linear model for catch allocation: an example of Australia's Northern Prawn Fishery. **Fish. Res.** 70, 405-422. 2004.

ZAR, J. **Biostatistical Analysis**. Prentice Hall, New Jersey, 1999.

ZAR, J. **Biostatistical analysis**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 2010.

ARTIGO 2 – INTERAÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA ABUNDÂNCIA E ESTRUTURA POPULACIONAL DO POLVO *Octopus insularis* NA REGIÃO COSTEIRA DE RIO DO FOGO, RIO GRANDE DO NORTE

A pesca com potes de cimento tem ganhado popularidade na frota artesanal de Rio do Fogo, município do Rio Grande do Norte, situado em uma extensa área marinha protegida. Essa prática, que visa a captura de *Octopus insularis*, utiliza tanto o mergulho livre quanto o mergulho com compressor. Devido à falta de dados específicos e atualizados sobre o esforço pesqueiro, é incerto o nível de captura sustentável para as populações de *O. insularis*. O estudo investigou a relação entre as capturas de *Octopus insularis* utilizando potes de cimento e variáveis ambientais no tempo, profundidade e tipo de substrato. Entre outubro de 2019 e janeiro de 2022, foram registrados 607 desembarques, resultando em 23.413 toneladas e 35.821 exemplares capturados. Uma subamostra (n=1.265) foi medida e pesada individualmente. Utilizou-se o Índice de Abundância Relativo, estimado pela Captura por Unidade de Esforço (CPUE), e um Modelo Linear Generalizado foi aplicado para analisar a CPUE em relação às variáveis mês, profundidade e tipo de substrato. Os resultados indicaram que a abundância de polvos é maior entre agosto e janeiro, principalmente durante o verão, quando o mar está mais calmo e as águas mais transparentes. Observou-se uma segregação de tamanhos por profundidade, com exemplares maiores encontrados em águas mais profundas (até 15 m). A abundância foi menor no substrato denominado de parrachos (0-5 m), aumentou em áreas com fundo de cascalho (5-10 m) e foi maior na região de restinga (>10 m; areia, rochas, cascalho, algas). A distribuição observada sugere migração de exemplares maiores para áreas mais profundas e distantes da costa. Para assegurar a sustentabilidade do *Octopus insularis*, é crucial implementar estratégias de manejo que protejam áreas de desenvolvimento dos jovens e refúgios reprodutivos, levando em conta as variações nas práticas pesqueiras no nordeste do Brasil. O estudo fornece um inventário detalhado da abundância e atualiza a dinâmica da frota artesanal em Rio do Fogo (RN), oferecendo dados fundamentais para a formulação de medidas de manejo específicas para esta espécie.

Palavras-chave: Rio Grande do Norte; pesca artesanal; polvo; CPUE; modelo linear generalizado.

ABSTRACT

Fishing with cement pots has gained popularity in the artisanal fleet of Rio do Fogo, a municipality in Rio Grande do Norte, located in an extensive marine protected area. This practice, which aims to catch *Octopus insularis*, uses both free diving and compressor diving. Due to the lack of specific and up-to-date data on fishing effort, the level of sustainable catch for *O. insularis* populations is uncertain. The study investigated the relationship between *Octopus insularis* catches using cement pots and environmental variables in time, depth and substrate type. Between October 2019 and January 2022, 607 landings were recorded, resulting in 23,413 tons and 35,821 specimens caught. A sub-sample ($n=1,265$) was measured and weighed individually. The Relative Abundance Index was used, estimated by the Catch Per Unit Effort (CPUE), and a Generalized Linear Model was applied to analyse CPUE in relation to the variables month, depth and substrate type. The results indicated that octopus abundance is higher between August and January, especially during the summer when the sea is calmer and the waters more transparent. A segregation of sizes by depth was observed, with larger specimens found in deeper waters (up to 15 m). Abundance was lowest in the substrate known as parrachos (0-5 m), increased in areas with a gravel bottom (5-10 m) and was highest in the restinga region (>10 m; sand, rocks, gravel, algae). The observed distribution suggests migration of larger specimens to deeper areas farther from the coast. To ensure the sustainability of *Octopus insularis*, it is crucial to implement management strategies that protect juvenile development areas and reproductive refuges, taking into account variations in fishing practices in northeastern Brazil. The study provides a detailed inventory of the abundance and updates the dynamics of the artisanal fleet in Rio do Fogo (RN), offering fundamental data for the formulation of specific management measures for this species.

Keywords: Rio Grande do Norte; artisanal fishing; octopus; CPUE; generalized linear model.

3.1 INTRODUÇÃO

O polvo *Octopus insularis* é um dos recursos pesqueiros mais importantes da pesca artesanal no município de Rio do Fogo, no Rio Grande do Norte. Apresenta elevada importância socioeconômica para região, sendo sua captura complementar à pesca da lagosta, realizada predominantemente durante o período de defeso por meio de mergulho livre e com o uso de compressor. No entanto, a legislação pesqueira em vigor não tem qualquer regulamentação específica para a pesca de pequena escala de mergulho autônomo, e o uso de compressor de ar é proibido de acordo com a Instrução Normativa IBAMA 138/2007 (Vasconcelos, 2008). Além disso, nos últimos anos, a pesca com potes de cimento tem se tornado uma modalidade pesqueira em crescimento na frota artesanal de Rio do Fogo (Haimovici *et al.*, 2014). Esse município está situado em uma vasta área marinha protegida de 180.000 ha, denominada Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais (APARC), criada em 2001 por meio do Decreto nº 15.746, o que implica que a maioria dos *O. insularis* é capturada nessas áreas, onde a pesca em pequena escala é permitida, tornando o cenário ainda mais preocupante.

Geralmente, essa pescaria é realizada para autoconsumo e abastecimento de restaurantes locais e turistas (Haimovici *et al.*, 2014). Segundo o estudo de Andrade (2015), aproximadamente 34% dos habitantes do município são pescadores ou dependentes da pesca artesanal, através do tratamento, transporte, compra e venda dos polvos, evidenciando a importância socioeconômica da espécie para a região.

Este grupo de organismos possui características biológicas que tornam a pesca rentável e sustentável a longo prazo. Essas características incluem um ciclo de vida curto, rápido crescimento, alta taxa de fecundidade e a capacidade de manutenção de seus estoques (Boyle; Rodhouse, 2005). Durante o período de reprodução, as fêmeas da espécie costumam se refugiar em maiores profundidades, fora das áreas de pesca, enquanto os indivíduos jovens são comumente capturados em águas rasas, com menos de 5 m de profundidade (Leite *et al.*, 2009). Contudo, a pesca de mergulho com compressor de ar possibilita a captura em maiores profundidades, o que pode resultar no acesso às fêmeas no período reprodutivo.

Devido à ausência de medidas específicas e estatísticas pesqueiras atualizadas, desconhece-se o nível de esforço de pesca que as populações de *O. insularis* podem suportar. Nesse contexto, o presente artigo teve como objetivo estimar a abundância relativa de *O. insularis* e relacionar ao espaço, tempo e em relação às variáveis ambientais no município de Rio do Fogo, a fim de contribuir com informações para adoção de políticas de manejo para manutenção da exploração deste recurso em níveis sustentáveis.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Coletas de dados

Entre outubro de 2019 e janeiro de 2022, no âmbito do Projeto Repensa Pesca, foram registrados 607 desembarques, junto a frota de 18 jangadas (Figura 13) que explora o polvo *O. insularis* com potes de cimento (Figura 14) no município de Rio do Fogo, no Rio Grande do Norte (Figura 15). Nesse período foram desembarcadas 23,413 toneladas, totalizando 35.821 exemplares capturados. Uma subamostra desses exemplares (n=1.265) foi medida (comprimento total e do manto) e pesada individualmente. Informações da data das pescarias, geomorfologia do substrato e profundidade das áreas de pesca, assim como o número de potes visitados nos mergulhos, que gerou a produção da pescaria, foram registradas junto aos mestres das embarcações no momento dos desembarques.



Figura 13: Embarcações cujos desembarques foram acompanhados em Rio do Fogo. Fonte: Marcelo Francisco de Nóbrega



Figura 14. Potes de cimento armazenados na praia para serem levados ao mar para captura de polvo. Fonte: Marcelo Francisco de Nóbrega

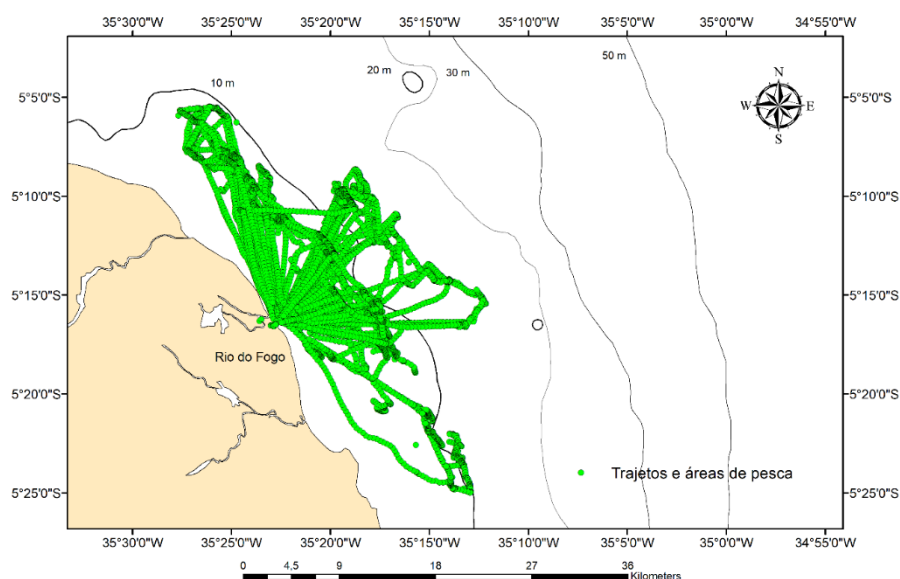


Figura 15. Trajetos e áreas de pesca da frota que explora o polvo na localidade de Rio do Fogo, entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022 Fonte: Marcelo Francisco de Nóbrega

3.2.2 Análises de dados

Um índice de abundância relativo foi estimado, utilizando a Captura por Unidade de Esforço (CPUE), dividindo o peso capturado por viagem pelo número de potes visitados nas capturas, multiplicado por 100 (kg/100 potes). Esses registros permitiram associar as CPUEs, comprimentos e pesos individuais de captura, com o espaço, tempo, profundidade e tipo de substrato.

A CPUE foi relacionada ao tempo, assim como a profundidade onde os potes eram despescados e a geomorfologia dos substratos, a fim de identificar quais as preferências de habitats da espécie na área de estudo. Um GPS Etrex 10 foi disponibilizado ao coletor do Projeto Repensapesca em Rio do Fogo, sendo programado para gerar pontos a cada 2,5 minutos nas viagens de pesca, registrando dessa forma a data, hora, latitude e longitude. Estes dados foram coletados entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022, totalizando 19.185 pontos georreferenciados no período de estudo, que permitiram identificar as áreas de exploração do *O. insularis* na região de Rio do Fogo. O Sistema de Informação Geográfico (ArcGis 10.4) foi usado para construir um mapa das áreas de atuação da frota de polvo da região (Figura 15).

Um Modelo Linear Generalizado (McCullagh & Nelder, 1989) foi estabelecido para modelar os índices de abundância (CPUE - captura por unidade de esforço – kg/100 potes), considerando como variável resposta a CPUE em função das variáveis mês, profundidade e tipo de substrato das áreas de pesca. O modelo de distribuição de probabilidade utilizado foi o

Gamma e a função de ligação logarítmica. O modelo proposto apresentou a seguinte estrutura em seus fatores e covariáveis:

$$\text{IGS} \sim \beta_0 + \text{Tipo substrato} + \beta_1 * \text{Mês} + \beta_2 * \text{Profundidade}.$$

Onde: β é o termo intercepto e β_1 e β_2 os coeficientes das covariáveis inseridas no modelo.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Distribuição de frequência de comprimento total, comprimento do manto e peso

Entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022 foram medidos e pesados individualmente 1.265 exemplares. O sumário dos comprimentos totais, comprimentos do manto e peso individual são apresentados na tabela 9. Durante o período analisado, os exemplares de *O insularis* capturados apresentaram variação de 28 a 70 cm em comprimento total, de 6 a 17cm em comprimento do manto e de 360 a 1817 g em peso total, com médias de 45,4cm, 10,2cm e 743g respectivamente.

Tabela 9. Variações do comprimento total, comprimento do manto e peso individual dos exemplares capturados entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022.

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
CT (cm)	1265	28,0	70,0	45,404	5,7456
CM (cm)	1265	6,0	17,0	10,264	1,4774
PesoT(g)	1265	360	1817	743	211

Com relação ao comprimento total, nas classes de 40 e 45 cm foram observados as maiores frequências (Figura 16A); já para o comprimento do manto, as maiores frequências foram observadas entre 9 e 11 cm, sendo que 38,4% das capturas incidiram sobre exemplares com tamanhos inferiores a 10 cm (Figura 16B). O peso individual apresentou as maiores frequências entre 400 e 600 g (Figura 16C).

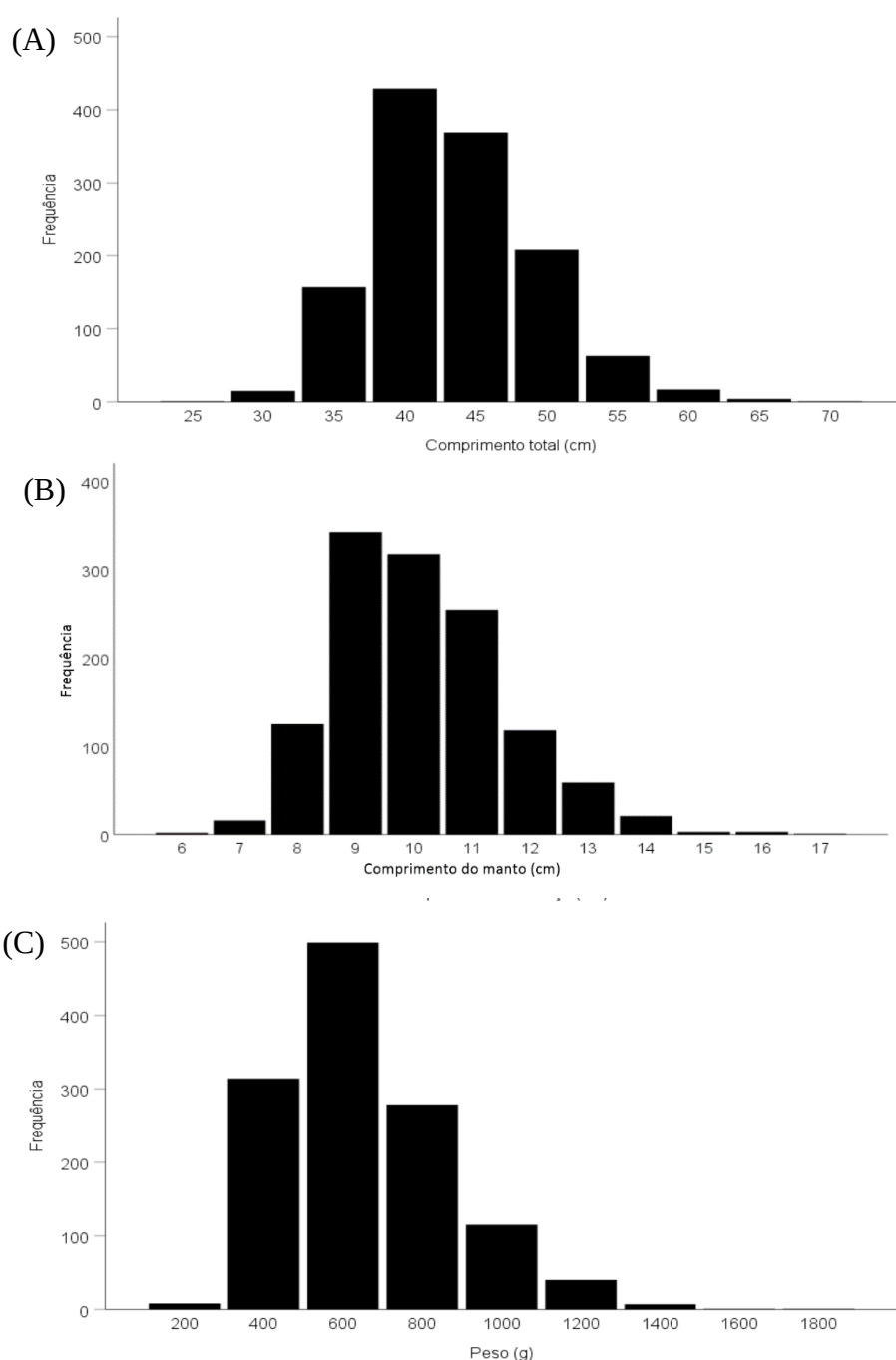


Figura 16. Distribuição de frequência de comprimento total (A), comprimento do manto (B) e peso total (C), para os exemplares de polvos amostrados em Rio do Fogo entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022

O valor médio do comprimento do manto para a população explorada de fevereiro de 2020 a janeiro 2022 foi abaixo do comprimento mínimo de captura definido como 11cm (BRASIL, 2005), totalizando 63,6% de exemplares capturados com comprimento do manto inferior a 11 cm. Esse alto percentual indica que a pesca está acessando uma grande parcela da população que ainda não tenha alcançado a maturidade, ameaçando a sustentabilidade da população de *O. insularis* em Rio do Fogo.

3.3.2. Peso, produção média e abundância relativa em relação aos meses

A representação gráfica do peso total capturado de exemplares entre 2020 e 2022 é apresentada na Figura 17, evidenciando os menores pesos médios registrados entre março e junho e os maiores pesos entre agosto e janeiro. Esses dados corroboram com a produção média mensal resultante dos desembarques de polvo entre 2019 e 2022, conforme ilustrado na Figura 18. A produção capturada por viagem variou de 4 a 160 kg (média=35,8 kg $\pm$ 25,8 kg). De uma forma geral, os maiores volumes desembarcados foram registrados entre setembro e janeiro.

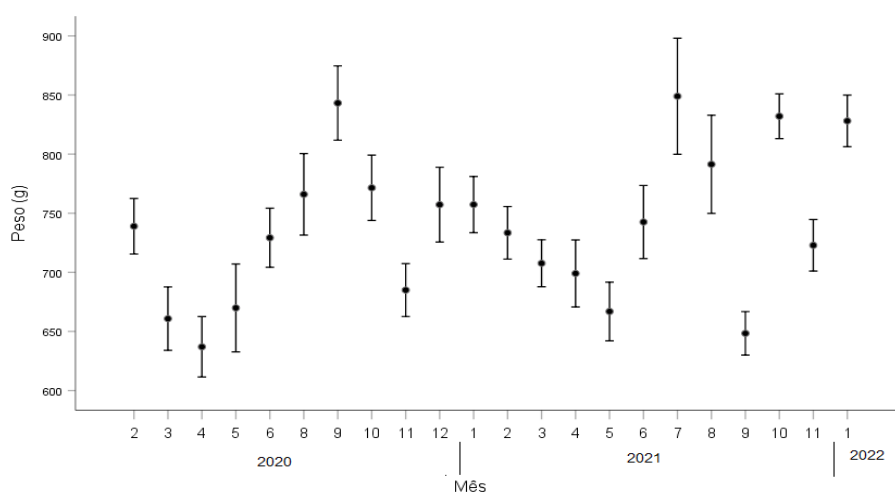


Figura 17. Peso médio (círculos) e erro padrão (barras) mensal dos exemplares capturados entre fevereiro de 2020 e janeiro de 2022.

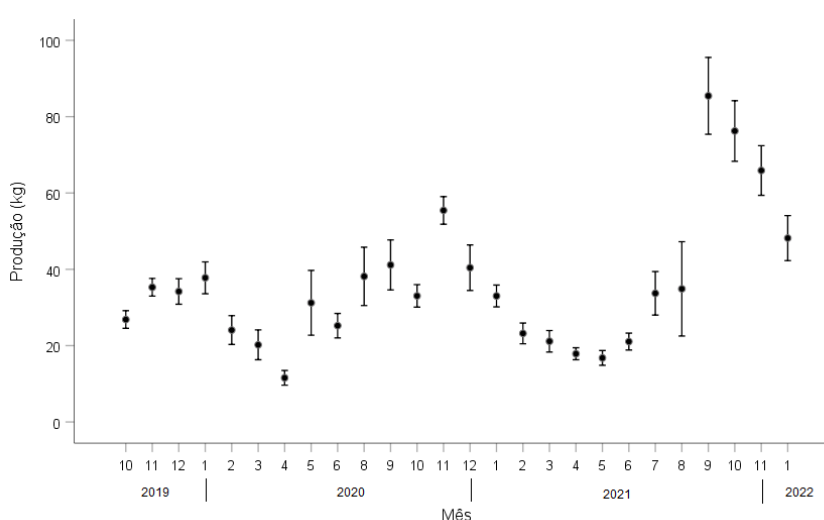


Figura 18. Produção média (círculos) e erro padrão (barras) mensal, resultante dos desembarques de polvo acompanhados entre outubro de 2019 e janeiro de 2022

A abundância relativa, estimada através da captura por unidade de esforço (CPUE), variou

entre 1,64 e 60 kg/100 potes (média= 13,05 kg/100 potes $\pm$ 8,32 kg/100 potes). Os maiores registros de abundância ocorreram entre agosto e janeiro (Figura 19).

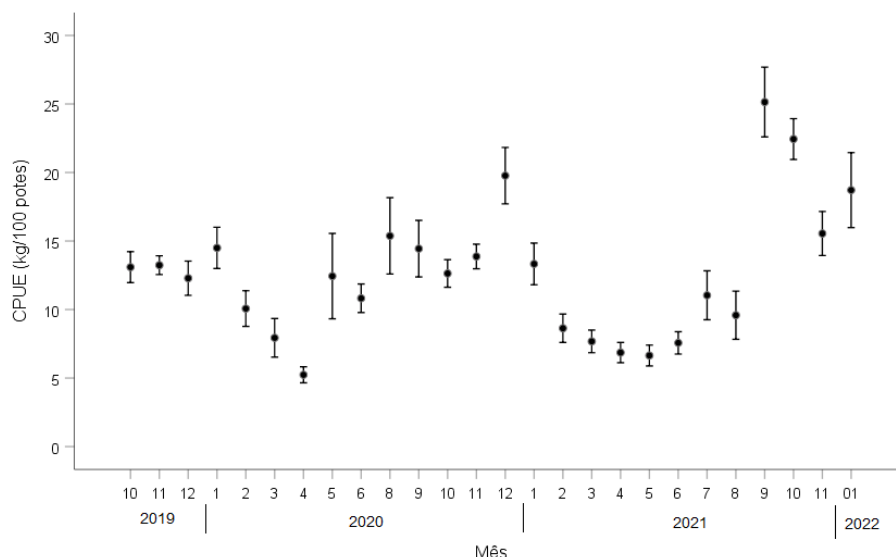


Figura 19. Abundâncias relativas médias (círculos) e erro padrão (barras) mensal.

A variação sazonal da produção observada neste estudo é consistente com os dados obtidos da pesca artesanal no período de 2004 a 2008 na região de Rio do Fogo (Leite *et al.*, 2010). Durante este período, foi registrada uma queda na produção entre maio e agosto, seguida por um aumento no mês de setembro, tanto na pescaria de mergulho livre (até 97,8 kg/barco-mês em fevereiro) quanto na de mergulho com compressor (até 144,9 kg/barco-mês no mês de novembro). A redução da abundância no primeiro semestre pode estar relacionada à época de inverno, que resulta em chuvas, ventos intensos e menor visibilidade da água. Por outro lado, os meses de setembro a abril correspondem a um período com mar mais calmo e águas transparentes, principalmente no verão (Haimovici *et al.*, 2014).

3.3.3. Abundância relativa e comprimento do manto em relação à profundidade

A exploração de polvo através do mergulho livre ocorreu em uma faixa de profundidade de 5 a 16 metros. Analisando a relação entre abundância relativa e profundidade, observou-se que as maiores abundâncias relativas médias foram encontradas em profundidades maiores, especificamente entre 10 e 16 m, com pico em 14 m. (Figura 20).

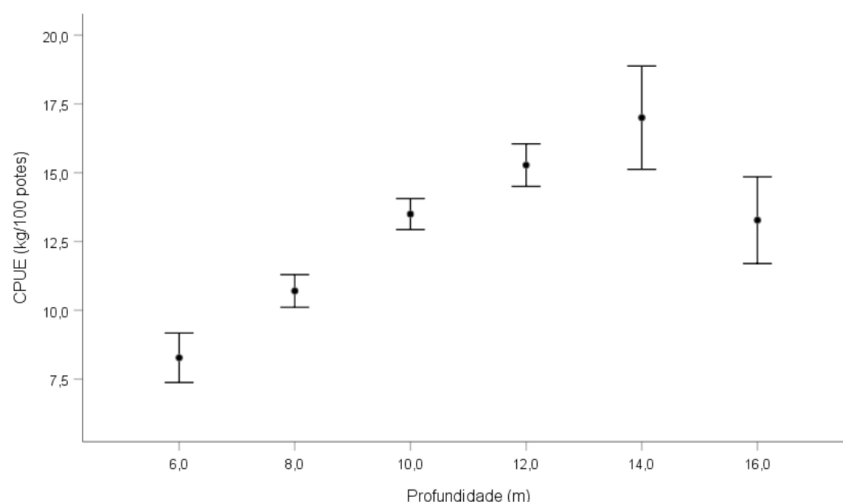


Figura 20. Abundâncias relativas médias (círculos) e erro padrão (barras) em relação às profundidades onde os potes estão localizados e foram despesados

Observou-se uma segregação clara de tamanhos em relação à profundidade, onde exemplares maiores habitam águas mais profundas (Figura 21), corroborando com resultados de estudos anteriores que revelam indivíduos juvenis em águas mais rasas e adultos em águas profundas de 5-15m (Batista e Leite, 2016; Batista, 2012; Hanlon e Messenger, 1996). Esta segregação espacial pode ser explicada pela temperatura (Quetglas *et al.*, 2016; Katsanevakis; Verriopoulos, 2004), desde que haja disponibilidade de alimento, no qual afeta a taxa de crescimento dos cefalópodes, com isso, os animais menores buscam acelerar o seu crescimento para reduzir o risco à predação, enquanto que os polvos maiores são impulsionados a procurar por águas mais frias e áreas mais profundas, reduzindo assim o gasto energético associado ao metabolismo acelerado (Schmidt-Nielsen, 1996).

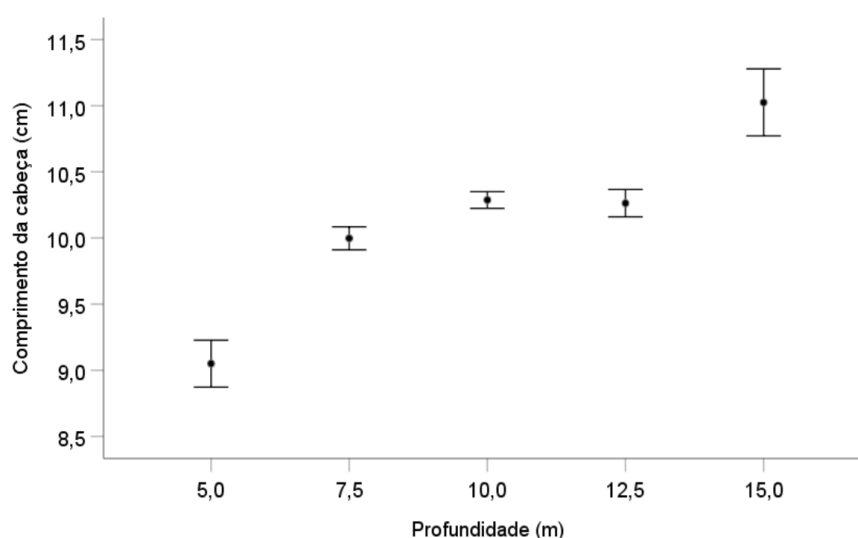


Figura 21. Comprimento do manto (círculos) e erro padrão (barras) dos exemplares capturados em relação às profundidades.

A abundância de polvos é suscetível a flutuações anuais devido a uma variedade de fatores ambientais. Um dos principais desafios enfrentados por essas populações é a alta taxa de mortalidade durante a fase planctônica, quando os polvos são mais vulneráveis à predação (Pierce *et al.*, 2010). Dessa forma, a abundância populacional está intrinsicamente ligada ao sucesso do recrutamento, conforme destacado por Sobrino *et al.* (2020).

A frota de jangadas de Rio do Fogo opera de uma forma geral entre 5 e 16 metros de profundidade. A pequena autonomia e estrutura das jangadas não permite que os pescadores explorem áreas mais profundas, a não ser que seja por meio do mergulho de compressor. Os dados de produção do presente estudo revelam a incidência da pesca sob indivíduos que variam de 9 a 11,5 centímetros em comprimento do manto (CM). Considerando o comprimento de primeira maturação estimado por Lima *et al.* (2014) para população de *O. insularis* em Rio do Fogo, como sendo 6,4 cm para machos e 9,8 cm para fêmeas, recomenda-se o estabelecimento de medidas de manejo adequadas, como: evitar a pesca em área que abriga grande parcela juvenil da população e em locais de refúgio para fêmeas em atividades de reprodução, para que dessa forma, se possa desenvolver uma pescaria de polvo sustentável e economicamente rentável no município de Rio do Fogo. Se levarmos em consideração o comprimento de primeira maturação estimado no primeiro capítulo do presente estudo, as pescarias deveriam ser realizadas em áreas a partir de 10 m de profundidade, minimizando dessa forma a captura de exemplares jovens.

3.3.4. Abundância relativa em relação ao tipo de substrato

O número de potes visitados por pescaria variou de 50 a 800 (média=276,4 $\pm$ 99,01), totalizando no período 167.786 potes despescados (Figura 22). A abundância tende a aumentar em áreas com fundo de cascalho e principalmente na região denominada de restinga (Figura 23), substratos que apresentam as profundidades médias próximas aonde foram estimadas as maiores CPUEs (Figura 23).

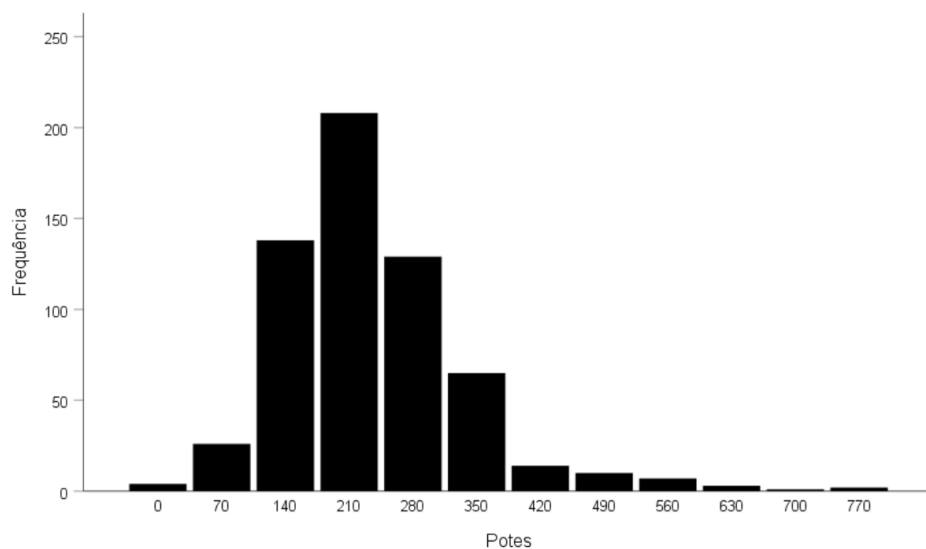


Figura 22. Distribuição de frequência do número de potes despeçados por pescaria nas capturas de polvo.

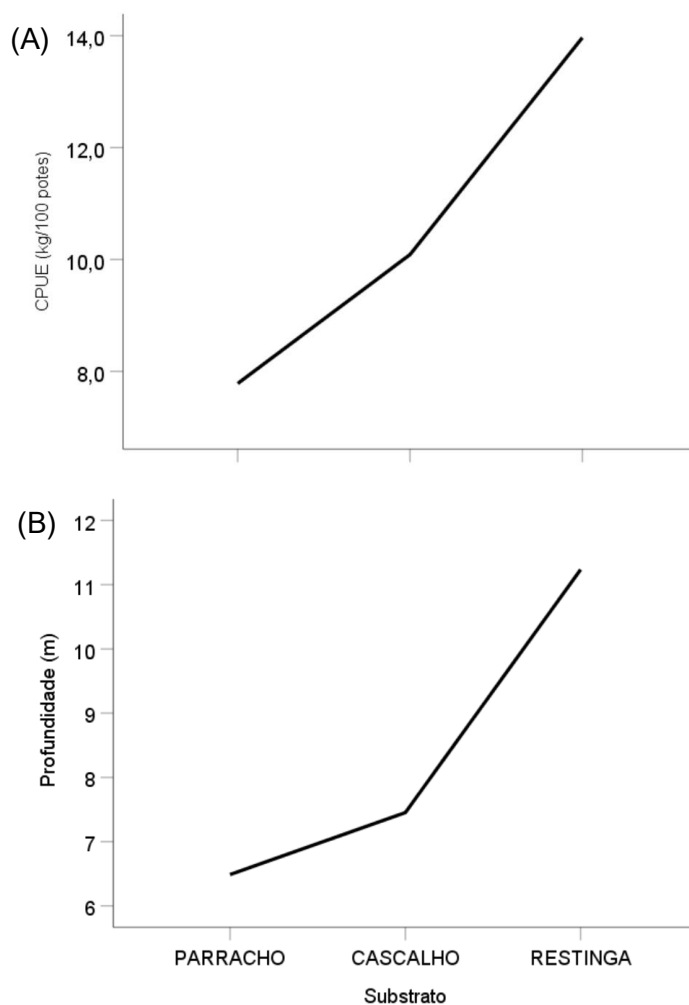


Figura 23. CPUEs médias em relação ao tipo de substrato (A); profundidades médias dos tipos de substratos onde os potes estão localizados e foram despeçados (B).

A abundância foi inferior no substrato-parracho (0-5 m), aumentou no fundo de cascalho (5-10 m) e atingiu seu pico na região de restinga (>10 m) composta por areia, rochas, cascalho e algas.

Batista e Leite (2016) caracterizaram o nicho ecológico de *Octopus insularis* na costa do Rio Grande do Norte, revelando importantes informações sobre os habitats de ocorrência desta espécie. Os habitats identificados incluem recifes, rochas, cascalho e um ambiente denominado restinga, com profundidades intermediárias entre 5 e 15 metros. Este ambiente é descrito como um platô não biogênico composto por cascalho, areia e rochas, bem como por materiais biogênicos, como esponjas e algas, onde foi encontrada uma alta densidade de indivíduos. Além disso, os polvos na costa apresentaram uma distribuição espacial agregada e uma clara segregação batimétrica, no qual indivíduos menores ocuparam predominantemente as áreas mais rasas, um padrão também observado no Arquipélago de Fernando de Noronha (Leite *et al.*, 2009).

Observações realizadas por Leite *et al.* (2009) indicam que fêmeas maduras de *O. insularis* podem ser encontradas em águas mais rasas antes da desova, em busca de alimento, uma vez que não se alimentam durante a incubação dos ovos. A baixa quantidade de fêmeas maduras encontradas (menos de 5%) em profundidades de até 15 metros no estudo do Rio Grande do Norte (Leite *et al.*, 2009) sustenta a hipótese de uma migração reprodutiva para áreas mais profundas, onde a deposição segura dos ovos pode ocorrer.

A influência do habitat sobre a distribuição e abundância de *Octopus insularis* é significativa devido à necessidade de refúgios para proteção e procura de alimento (Hanlon; Messenger, 1996; Batista; Leite, 2016). O presente estudo demonstrou que a preferência por determinados tipos de habitat e a profundidade do ambiente são fatores cruciais para a distribuição da espécie. Observou-se que a abundância de polvos aumenta em maiores profundidades, onde há uma maior agregação de indivíduos de maior tamanho. Essas evidências estão em concordância com os resultados de Lima *et al.* (2014), que destacam as regiões profundas como habitats preferenciais para a deposição segura de ovos do *O. insularis*.

No leste do Atlântico Norte, Guerra *et al.* (2015) identificaram que *Octopus vulgaris* possui uma notável preferência por áreas com substratos de fundo duro, incluindo seixos, rochas de leito ou afloramentos, e um grande número de fendas e buracos naturais, em profundidades moderadas de aproximadamente 20 m. Na Nova Zelândia, *O. tetricus* foi encontrado com maior abundância nas áreas adjacentes às bordas dos recifes, com uma preferência por regiões com abundante cascalho em comparação às áreas planas fora dos recifes (Anderson, 1997).

A identificação dos principais habitats de ocorrência e os padrões de distribuição espacial são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias de conservação e manejo, especialmente dentro da Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais (APARC). É relevante considerar que a pesca de mergulho livre, por acessar áreas menos profundas e frequentemente mais acessíveis, pode ter um impacto desproporcional sobre as populações juvenis de *Octopus insularis*. Por outro lado, a pesca com mergulho com compressor, realizada ilegalmente, permite o acesso a maiores profundidades e locais mais remotos, podendo afetar diretamente os locais de refúgio utilizados por fêmeas durante a reprodução. Assegurar a exploração sustentável deste importante recurso pesqueiro exige uma abordagem de manejo que reconheça e responda a essas diferenças na atividade pesqueira realizada na região nordeste do Brasil.

3.3.5. Modelo Linear Generalizado (GLM) para abundância relativa (CPUE)

O Modelo Linear Generalizado estabelecido para a abundância relativa indicou que o tipo de substrato, o mês e a profundidade foram estatisticamente significativos e influenciam nas variações da CPUE (Tabela 10). Segundo o modelo, entre agosto e janeiro foram estimadas as maiores abundâncias (Figura 24). A abundância apresentou tendência de crescimento em direção a maiores profundidades (Figura 25), em substratos caracterizados pela restinga (Figura 26).

Tabela 10. Sumário do modelo GLM para a CPUE em relação ao tipo de substrato, ao mês e a profundidade, referente as capturas de *O. insularis* explorado em Rio do Fogo (RN).

Origem	Qui-quadrado de Wald	gl	Sig.
(Intercepto)	327,760	1	<0001
Tipo de substrato	16,729	2	<0001
Mês	164,885	24	<0001
Prof(m)	4,297	1	0,038
Variável Dependente: CPUE			
Modelo: (Intercepto), Tipo de Fundo, Mês, Prof(m)			

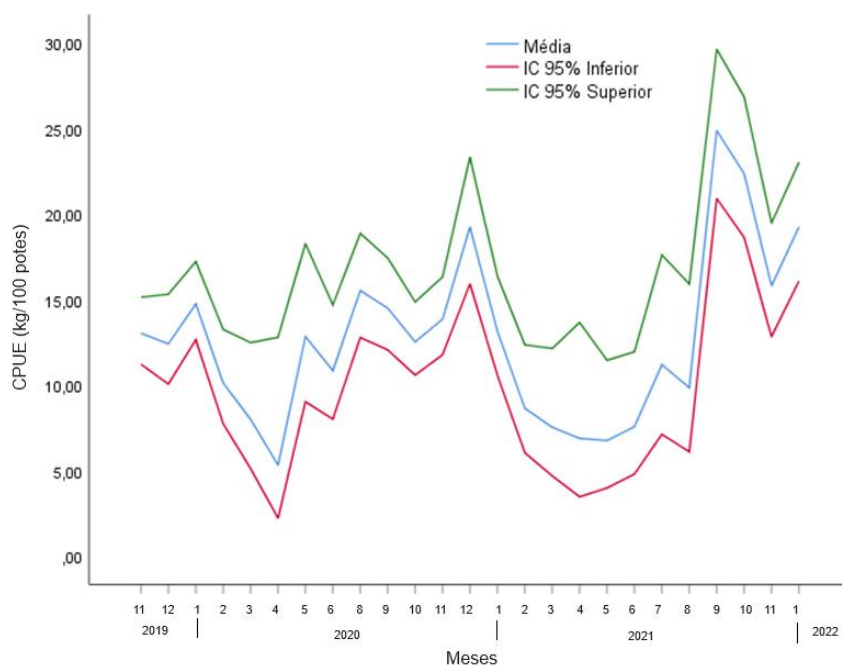


Figura 24. Valores esperados médios e intervalo de confiança do CPUE para o modelo GLM estabelecido em relação aos meses do ano, para *O. insularis* explorado em Rio do Fogo (RN).

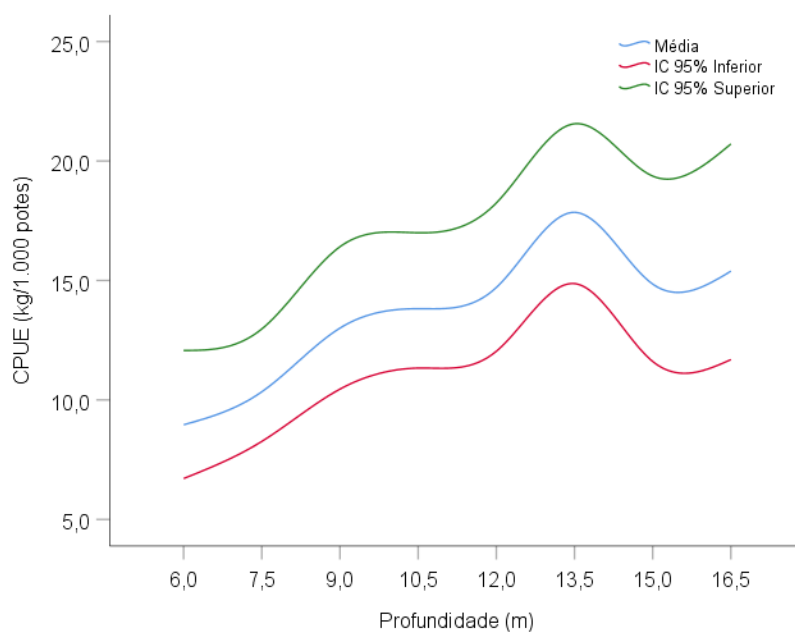


Figura 25. Valores esperados médios e intervalo de confiança do CPUE para o modelo GLM estabelecido em relação a profundidade, para *O. insularis* explorado em Rio do Fogo (RN).

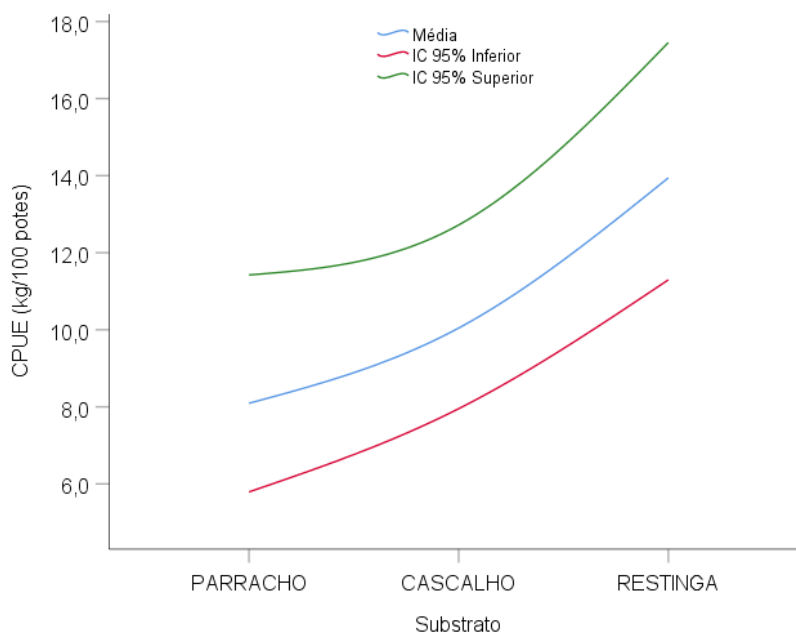


Figura 26. Valores esperados médios e intervalo de confiança do CPUE para o modelo GLM estabelecido em relação aos tipos de substrato, para *O. insularis* explorado em Rio do Fogo (RN).

3.4. CONCLUSÃO

Para a gestão eficaz de *O. insularis*, é imprescindível uma abordagem baseada em dados atualizados sobre a biologia e dinâmica populacional da espécie. Os resultados obtidos neste estudo possibilitaram a elaboração de um inventário detalhado da distribuição espaço-temporal da abundância de *Octopus insularis* e a atualização da dinâmica da frota artesanal no município de Rio do Fogo (RN), bem como estabeleceu a estrutura populacional em termos de comprimentos e pesos, fornecendo dados cruciais para o desenvolvimento de práticas sustentáveis na pesca de polvo na região.

Em resumo, estratégias de manejo devem ser desenvolvidas para proteger tanto as áreas de desenvolvimento juvenil quanto os locais de refúgio reprodutivo. Medidas como a criação de zonas de proteção e a regulamentação das práticas de pesca devem considerar a importância ecológica dessas áreas específicas. Além disso, o monitoramento contínuo e a coleta de dados atualizados são essenciais para ajustar as estratégias de manejo, permitindo assegurar a conservação da espécie e a manutenção da saúde dos ecossistemas marinhos.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T. J. Habitat selection and shelter use by *Octopus tetricus*. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 150, 149–155. 2007.
- ANDRADE, Lorena Candice de Araújo. (2015). **Estratégias de exploração e comércio da pesca artesanal de polvo**. [Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN]. 2015. Repositório. <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/21959>
- BATISTA, Bruno Braulino. **Estimativa da idade do polvo, *Octopus insularis* capturado com espinhel de potes no Ceará, relacionada com os estágios de maturação gonadal**. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará – UFC]. 2011. Repositório. <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/18239>
- BATISTA, Allan Torrecilla; LEITE, Tatiana Silva. *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae) on the tropical coast of Brazil: where it lives and what it eats. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, p. 353-364, 2016.
- BOYLE, P. R.; RODHOUSE, P. G. **Cephalopods. Ecology and Fisheries**. Oxford, Blackwell Publishing. 452p. 2005.
- BRASIL. **Instrução Normativa SEAP/PR no 3, de 26 de abril de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília. 2005.
- GUERRA, Ángel *et al.* Spawning habitat selection by *Octopus vulgaris*: New insights for a more effective management of this resource. **Fisheries Research**, v. 167, p. 313-322, 2015.
- HAIMOVICI, Manuel *et al.* As Pescarias de Polvos do Nordeste do Brasil. In: **A pesca marinha e estuarina no Brasil**. Rio Grande/RJ: Editora da FURG, p. 149-161, 2014.
- HANLON, R.T.; MESSENGER, J.B. **Cephalopod Behaviour**. University Press, Cambridge, United Kingdom. 1996.
- KATSANEVAKIS, S., VERRIOPOULOS, G.. Relative abundance of *Octopus vulgaris* on soft sediment. **Sci. Mar.** 68 (4), 553–560, 2004.
- LEITE, T. S.; HAIMOVICI, M.; MATHER, J.; LINS, J. E. O. Habitat, distribution, and abundance of the commercial octopus (*Octopus insularis*) in a tropical oceanic island, Brazil: information for management of an artisanal fishery inside a marine protected area. **Fisheries Research** 98: 85–91. 2009.
- LEITE, T. S.; CORRÊA, R. S. G.; LIMA, F. D.; VASCONCELOS, J. A.; OLIVEIRA, J. E. L.; HAIMOVICI, M. A pesca artesanal de polvo (*Octopus*) no Rio Grande do Norte. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA-CBO-2010**. p. 17-21, 2010.
- LIMA, Françoise D. *et al.* Population structure and reproductive dynamics of *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae) in a coastal reef environment along northeastern Brazil. **Fisheries Research**, v. 152, p. 86-92, 2014.

MCCULLAGH, P., NELDER, J. A. **Generalized Linear Models**, 2nd. ed. Chapman and Hall, London, 1989.

PIERCE *et al.*; G.J. PIERCE, L. ALLCOCK, I. BRUNO, P. BUSTAMANTE, A. GONZÁLEZ, A. GUERRA, P. JEREB. Cephalopod Biology and Fisheries in Europe. **ICES Cooperative Research Report** N° 303. 2010.

QUETGLAS, A., RUEDA, L., ALVAREZ-BERASTEGUI, D., GUIJARRO, B., & MASSUTÍ, E. Contrasting responses to harvesting and environmental drivers of fast and slow life history species. **PloS one**, 11(2), e0148770, 2016.

RIO GRANDE DO NORTE. Decreto nº15.746, de 6 de junho de 2001. Dispõe sobre criação de Área de Proteção Ambiental – APA dos Recifes de Corais. Disponível em: [Área de Proteção Ambiental Recifes de Corais - APARC \(adcon.m.gov.br\)](http://adcon.m.gov.br) Acesso em: 02 ago 2024.

SCHMIDT-NIELSEN, K. Metabolismo energético. In: _____. **Fisiologia Animal: Adaptação e Meio Ambiente**. Duke University. Ed. Santos. 600 p. 1996.

SOBRINO, I., RUEDA, L., TUGORES, M. P., BURGOS, C., COJAN, M., & PIERCE, G. J. Abundance prediction and influence of environmental parameters in the abundance of Octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) in the Gulf of Cadiz. **Fisheries Research**, 221, 105382, 2020.

VASCONCELOS, J. A. A pesca de polvo no Rio Grande do Norte. **Polvo News**, v. 4, n. 3, 2008

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo proporcionou avanços significativos na atualização e compreensão da biologia reprodutiva de *Octopus insularis* na região costeira de Rio do Fogo, fornecendo informações essenciais sobre o tempo requerido para a maturação sexual, os períodos de reprodução e as estratégias reprodutivas. Esses dados são fundamentais para o desenvolvimento de medidas de gestão mais eficazes, incluindo a criação e regulamentação da pesca de polvo com potes na região nordeste do Brasil, incorporando tamanhos mínimos de captura, assim como áreas de exclusão a pesca em determinados períodos do ano. Além disso, o estudo possibilitou a criação de um inventário detalhado da distribuição e abundância da espécie na região de Rio do Fogo (RN), atualizando a dinâmica da frota artesanal e definindo a estrutura populacional em termos de comprimentos, pesos, profundidades e em relação aos diferentes habitats. A revisão das práticas de manejo e a consideração de regulamentações mais adequadas são essenciais para equilibrar a exploração econômica com a conservação da espécie e garantir a sustentabilidade deste importante recurso pesqueiro.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, Bruno Braulino. **Estimativa da idade do polvo, *Octopus insularis* capturado com espinhel de potes no Ceará, relacionada com os estágios de maturação gonadal**. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará – UFC]. 2011. Repositório. <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/18239>
- BATISTA, B. B.; MATTHEWS-CASCON, H.; MARINHO, R. A.; KIKUCHI, E.; HAIMOVICI, M. The growth and population dynamics of *Octopus insularis* targeted by a pot longline fishery in north-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 101(6), 935-946. 2021.
- BOYLE, P. R.; RODHOUSE, P. G. **Cephalopods. Ecology and Fisheries**. Oxford, Blackwell Publishing. 452p. 2005.
- DANTAS, R. J. D. S. **Ecología trófica do polvo *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae): comparações metodológicas e nova perspectiva através do uso de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio** (Master's thesis, Brasil). 2017. Repositório: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/23596>
- FAO. (2016). **Fishery and aquaculture statistics. FAO Yearbook 2014**. Rome, Italy. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/570fc84b-5d02-4345-a6b3-5876279e4a8d/>
- FAO. (2020). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020**. Sustainability in action. Rome, Italy. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229en>
- HAIMOVICI, Manuel *et al.* As Pescarias de Polvos do Nordeste do Brasil. In: **A pesca marinha e estuarina no Brasil**. Rio Grande/RJ: Editora da FURG, p. 149-161, 2014.
- HANLON, R.T.; MESSENGER, J.B. **Cephalopod Behaviour**. University Press, Cambridge, United Kingdom. 1996.
- IBAMA. **Estatística da pesca 2006 Brasil: grandes regiões e unidades da federação**. MMA, 174 p., Brasília, 2008.
- JEREB P; ROPER CFE; NORMAN MD; FINN JK. **Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date**. Octopods and Vampire Squids. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes 4. Vol. 3. Rome (Italy): FAO. pp. 370, 2013.
- LEITE, T. S.; HAIMOVICI, M.; MOLINA, W.; WARNKE, K. Morphological and genetic description of *Octopus insularis*, a new cryptic species in the *Octopus vulgaris* complex (Cephalopoda: Octopodidae) from the tropical southwestern Atlantic. **J. Mollus. Stud.**, v. 74, n. 1, p. 63-74, 2008.
- LIMA, Françoise D. *et al.* Population structure and reproductive dynamics of *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae) in a coastal reef environment along northeastern Brazil. **Fisheries Research**, v. 152, p. 86-92, 2014.
- NESIS, K. N. **Cephalopods of the world**. Moscow, T.F.H. Publications. 351p. 1987.

NORMAN, M. **Cephalopods of the World, a world guide**. ConchBooks, Hakenheim, Germany. 2003.

SAUER, Warwick HH *et al.* World octopus fisheries. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 29, n. 3, p. 279-429, 2021.

VASCONCELOS, J. A. A pesca de polvo no Rio Grande do Norte. **Polvo News**, v. 4, n. 3, 2008.