



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

ROGER RAFAEL CAVALCANTI BANDEIRA DE MELO

**ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM
RHIZOPRIONODON POROSUS (POEY, 1861) NA COSTA DO ESTADO DE
PERNAMBUCO**

Recife

2023

ROGER RAFAEL CAVALCANTI BANDEIRA DE MELO

**ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM
RHIZOPRIONODON POROSUS (POEY, 1861) NA COSTA DO ESTADO DE
PERNAMBUCO**

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

Orientador: Prof. Dr. Mário Barletta

Recife

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4/1502

M528e Melo, Roger Rafael Cavalcanti Bandeira de.
 Ecologia alimentar e da contaminação por microplásticos em *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) na costa do estado de Pernambuco. / Roger Rafael Cavalcanti Bandeira de Melo. – 2023.
 72 f.: il.

 Orientador: Prof. Dr. Mário Barletta.
 Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
 Programa de Pós-Graduação em Oceanografia. Recife, 2023.
 Inclui referências.

 1. Oceanografia. 2. Chondrichthyes. 3. Distribuição espaço-temporal.
 4. Ecologia alimentar. 5. Microplásticos. 6. Predador de topo. I. Barletta, Mário (orientador). II. Título.

551.46 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2023-192

ROGER RAFAEL CAVALCANTI BANDEIRA DE MELO

**ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM
RHIZOPRIONODON POROSUS (POEY, 1861) NA COSTA DO ESTADO DE
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Aprovado em: 22/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mário Barletta (Presidente)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Maria Inês Bruno Tavares (Examinador Externo ao Programa)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Ricardo de Souza Rosa (Examinador Externo ao Programa)
Universidade Federal da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Universidade Federal de Pernambuco, ao departamento de oceanografia do centro de tecnologia e geociências, ao Laboratório de ecologia e gerenciamento de ecossistemas costeiros e estuarinos (LEGECE), ao curso de pós-graduação, aos professores e funcionários do Departamento de Oceanografia, à Profa. Dra. Maria Inês Bruno Tavares e o Instituto de Macromoléculas professora Eloisa Mano, o Prof. Dr. Francisco A. J. Cysneiros, o Departamento de Estatística da UFPE, o Prof. Dr. Ricardo de Souza Rosa do Departamento de Sistemática e Ecologia da UFPB e a Fundação de amparo a ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco pelo apoio ao desenvolvimento dessa tese de mestrado.

Gostaria também de expressar minha gratidão ao meu orientador, professor Dr. Mário Barletta, cuja expertise e orientação foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação, sabedoria e incentivo foram fundamentais para aprimorar minha compreensão do campo da oceanografia e para a realização desta dissertação.

Além disso, gostaria de agradecer os amigos Amaury Basilio Chagas, Stephan Carty e Rhayssa Danyella e expressar minha gratidão aos pescadores Eduardo Reis do Oriente e Roméro José Vicente por sua generosidade em compartilhar seu conhecimento prático sobre o oceano.

Agradeço à minha família, pois sem o amor e o incentivo de vocês, eu não teria alcançado esse marco em minha carreira. À minha mãe, Silvia, agradeço por ser minha maior fonte de inspiração e por sempre acreditar em mim, mesmo nos momentos de incerteza. Sua dedicação e amor inabaláveis são a base do meu crescimento pessoal e profissional.

À minha esposa, Priscila, agradeço por seu amor e compreensão ao longo de todo o processo de elaboração desta dissertação. Seu apoio constante foi essencial para superar os desafios que surgiram pelo caminho. Sou grato por ter você ao meu lado e por ser minha parceira de vida.

À minha filha, Raicca, agradeço por trazer alegria e inspiração à minha vida. Seu sorriso ilumina meus dias e sua curiosidade pelo conhecimento me motiva a buscar sempre o melhor em meus estudos. Espero que um dia você também possa seguir seus sonhos e conquistar seus objetivos.

RESUMO

Este estudo descreve a ecologia alimentar, a contaminação por microplásticos (MP) e a distribuição espacial de cada fase ontogenética de *R. porosus*, em função de parâmetros espaço-temporais no litoral leste da América do Sul. Considerando a pesca com redes de emalhe de superfície, a CPUEN (densidade) e CPUEW (biomassa) para todos os indivíduos foram $1,3 \pm 0,3$ ind.dia-1 e 877 ± 232 g.dia-1. Neonatos ($0,9 \pm 0,3$ ind.dia-1 e $166,8 \pm 64$ g.dia-1) e jovens ($2,3 \pm 0,3$ ind.dia-1 e $1351,7 \pm 129$ g.dia-1) foram capturados durante todas as estações, exceto a adultos ($0,7 \pm 0,3$ ind.dia-1 e $1111,8 \pm 556,4$ g.dia-1) que provavelmente se deslocam para águas abertas adjacentes durante o final da estação seca. A dieta de *R. porosus* consistiu principalmente de peixes (FO=71,8%). Todas as fases ontogenéticas estavam contaminadas por MP (FO=100%). Entre os detritos plásticos detectados em *R. porosus*, 91,6% eram microplásticos (< 5 mm) dos quais as fibras azuis contribuíram com 53,7%. As amostras de microplástico foram analisadas por Microscopia Óptica (MO), infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e pela técnica EDS (espectroscopia de raios-X por dispersão de energia) e identificadas como polietileno. A relação observada entre a contaminação por microplásticos e o comportamento alimentar de *R. porosus* pode ser uma evidência de transferência trófica de microplásticos. *R. porosus* apresenta alta taxa de ingestão de microplástico quando comparado a peixes de níveis tróficos inferiores. Além disso, muitos peixes predados por *R. porosus* estavam contaminados com microplásticos (por exemplo, *Eugerres brasiliensis*, *Harengula clupeiola*, *Rhinosardinia bahiensis*, *Anchovia clupeioides*, *Monacanthus ciliatus*, *Polydactylus virginicus*, *Trachinocephalus myops*, *Eucinostomus melanopterus* e *Lutjanus analis*), sugerindo a probabilidade de transferência trófica.

Palavras-Chave: Chondrichthyes; distribuição espaço-temporal; ecologia alimentar; microplásticos; predador de topo.

ABSTRACT

This study describes the feeding ecology, plastic debris contamination, and spatial distribution of each ontogenetic phase of, the Caribbean sharpnose shark, *Rhizoprionodon porosus* as a function of spatial-temporal parameters in the eastern South American coastal area. Considering the surface gillnets fishery, the CPUEN (density) and CPUEW (biomass) for all individuals, in a surface drift gillnet fishery, were 1.3 ± 0.3 ind.day⁻¹ and 877 ± 232 g.day⁻¹. Neonates (0.9 ± 0.3 ind.day⁻¹ and 166.8 ± 64 g.day⁻¹), and juveniles (2.3 ± 0.3 ind.day⁻¹ and 1351.7 ± 129 g.day⁻¹) were captured during all seasons. Adults (0.7 ± 0.3 ind.day⁻¹ and 1111.8 ± 556.4 g.day⁻¹) were largely caught during the late rainy and early dry seasons, probably moving offshore to adjacent open waters during the late dry season. The diet of *R. porosus* consisted mainly of fish (percentage frequency of occurrence; FO=71.8%). All ontogenetic phases were contaminated by plastic debris (FO=100%). Among the plastic debris detected in *R. porosus*, 91.6% were microplastics (< 5 mm), of which blue fibers contributed 53.7%. The microplastic samples were analyzed by Optical microscopy (OM), Fourier Transform Infrared (FTIR), Scanning electron microscopy (SEM) and by the EDS technique (energy dispersion X-ray spectroscopy) and identified as polyethylene. *R. porosus* has a high ingestion rate of microplastic compared to fishes of lower trophic levels. In addition, many fishes within the stomach contents of *R. porosus* were themselves contaminated with microplastics (e.g., *Eugerres brasiliensis*, *Harengula clupeola*, *Rhinosardinia bahiensis*, *Anchovia clupeoides*, *Monacanthus ciliatus*, *Polydactylus virginicus*, *Trachinocephalus myops*, *Eucinostomus melanopterus*, and *Lutjanus analis*). The piscivorous diet of *R. porosus* likely leads to accumulation of microplastic contamination in this top predator through trophic transfer.

Keywords: Chondrichthyes; feeding ecology; microplastics; spatiotemporal distribution; top predator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Área de estudo na plataforma continental interna oriental da América do Sul (). Essa área corresponde à zona de operação da frota pesqueira artesanal local. Cada ponto corresponde às capturas georreferenciadas de <i>R porosus</i> durante as estações (● início da seca; ● final da seca; ● início da chuva; ● final da chuva) na zona costeira.....	17
Figura 2 –	Delineamento amostral	21
Figura 3 –	Regressão logística para machos e fêmeas de <i>R porosus</i>	26
Figura 4 –	Classificação ontogenética do <i>R porosus</i> em Neonato, jovem e Adulto	27
Figura 5 –	Caracterização das fases ontogenéticas pela morfologia dos espécimes. Cicatriz umbilical em neonato (A), Cláster pequeno e flácido em macho jovem (B), Desenvolvimento do testículo em macho Adulto (C), Folículos ovarianos em Fêmea Adulta (D)	27
Figura 6 –	CPUE em número e peso para as fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) nas estações de início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) na região costeira	31
Figura 7 –	Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão ZAGA para a densidade de <i>R. porosus</i>	31
Figura 8 –	Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão ZAGA para a biomassa de <i>R. porosus</i>	32
Figura 9 –	Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) de itens consumidos por <i>R. porosus</i> em diferentes fases ontogenéticas (neonato, jovem, adulto) e estações (IS, início da seca; FS, Final da seca; IC, Início da chuva; FC, Final da chuva) na região costeira.....	34

Figura 10 –	Média e erro padrão de presas ingeridas por <i>R. porosus</i> (peixes, cefalópodes e camarões) em número em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) e fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) na região costeira	35
Figura 11 –	Média e erro padrão das presas ingeridas por <i>R. porosus</i> (peixes, cefalópodes e camarões) em peso em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) e fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) na região costeira	36
Figura 12 –	Média e erro padrão do número total de microplásticos ingeridos por <i>R. porosus</i> em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) e fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) na região costeira	43
Figura 13 –	Médias e erro padrão das formas e cores mais relevantes de MP ingeridas por <i>R. porosus</i> em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) e fases ontogenéticas (neonato, jovem e adultos) na região costeira	44
Figura 14 –	Contaminação por MP em <i>R. porosus</i> . (a) Fibra Azul; (b) Fibra Preta; (c) Fibra Vermelha; (d) Filme Preto; (e) Filme Branco (f) Filme amarelo (g) Fragmento Preto (h) Espuma Preta	46
Figura 15 –	Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão binomial negativo para a contaminação por MP de <i>R. porosus</i>	48
Figura 16 –	Imagens de Microscopia Óptica de fibras (A, B e C) e Filmes (D) de microplástico associados a microrganismos (setas).....	48

Figura 17 –	Imagens de microscopia eletrônica de varredura de fibras (A, B, C) e filmes (D, E) de microplástico mostrando a estrutura do polímero de polietileno ingerido por <i>R. porosus</i>	49
Figura 18 –	O espectro FTIR da amostra de microplástico (A) e a comparação entre a amostra polietileno (vermelho) e um FTIR padrão de polietileno oxidado (preto) (B) mostrou que o polímero base está degradado.....	50
Figura 19 –	Análise de Correspondência Canônica (ACC) para correlações entre contaminação por MP, itens alimentares e variáveis ambientais. As setas representam os parâmetros ambientais (chuva (CHUVA), temperatura (TEMP) e distância das capturas (DC). Os triângulos (Δ) representam a contaminação por MP fibras azuis (AFIB) e filmes pretos (PFIL) e os itens alimentares (<i>L. analis</i> (<i>Lutanal</i>), <i>H. clupearia</i> (<i>Harclup</i>), <i>H. corvinaeformis</i> (<i>Haecor</i>), <i>M. ciliatus</i> (<i>Moncil</i>), <i>R. bahiensis</i> (<i>Rhibah</i>), <i>E. melanopterus</i> (<i>Eucmel</i>), <i>H. aurolineatum</i> (<i>Haaur</i>), <i>L. synagris</i> (<i>Lutsyn</i>) e <i>P. virginicus</i> (<i>Polvir</i>). Os círculos (O) representam as interações entre os fatores estação (IS; início da seca, FS; final da seca, IC; início da chuva e FC; final da chuva) e fases ontogenéticas de <i>R. porosus</i> (neonato, jovem e adulto) na zona costeira.....	54
Figura 20 –	Modelo conceitual da distribuição, ecologia alimentar e contaminação por MP das fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) de <i>R. porosus</i> em função das estações início da seca (A), Final da seca (B), início da chuva (C) e final da chuva (D).....	59
Figura 21 –	Evidência de transferência trófica observada entre neonatos de <i>R. porosus</i> e presas (<i>Engraulidae</i>). Ambos, predador e presa estavam contaminados por fibras azuis de MP (A). Em B está a evidência de transferência trófica de MP em <i>R. porosus</i> jovens. O <i>R. porosus</i> e as presas estavam contaminados por MP e em C está a evidência de transferência de MP em <i>R. porosus</i> adultos	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Médias e erro padrão (EP) da captura por unidade de esforço (CPUE) em número e peso, distância das capturas das fases ontogenéticas de <i>R. porosus</i> e chuva nas estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) na região costeira.....	29
Tabela 2 –	Composição da dieta de <i>R. porosus</i> expressa em porcentagem do índice de importância relativa (IRI%) em função das fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) e estações (IS, início da seca; FS, Final da seca; IC, Início da chuva; FC, Final da chuva) na zona costeira.....	30
Tabela 3 –	Composição da dieta de <i>R. porosus</i> expressa em porcentagem do índice de importância relativa (IRI%) de acordo com as fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) e estações (IS, início da seca; FS, Final da seca; IC, Início da chuva; FC, Final da chuva) na zona costeira.....	37
Tabela 4 –	Microplásticos detectados em presas contaminadas das diferentes fases ontogenéticas de <i>R. porosus</i> (neonato, jovem e adulto) em função das estações (IS, início da seca; FS, Final da seca; IC, Início da chuva; FC, Final da chuva) na zona costeira.....	40
Tabela 5 –	Microplásticos detectados nas diferentes fases ontogenéticas de <i>R. porosus</i> (neonato, jovem e adulto) em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) na região costeira	46
Tabela 6 –	Sumário da distribuição Binomial Negativa para os dados de contaminação por MP em <i>R. porosus</i> com os fatores estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC), fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto), presa _{peixes} chuva e distância das capturas e interações entre os fatores estação e fases ontogenéticas na região costeira (Códigos de significância:	

**** p<0.001 *** p<0.01 ** p<0.05 * p<0.1)..... 48

Tabela 7 –	Médias e erro padrão (EP) da composição elementar das amostras de fibras de MP pela técnica EDS.....	51
Tabela 8 –	Médias e erro padrão (EP) da composição elementar das amostras de filmes de MP pela técnica EDS.....	51
Tabela 9 –	Atribuições do espectro infravermelho da amostra de microplástico.....	52
Tabela 10 –	Resumo da Análise de Correspondência Canônica (ACC) utilizando as variáveis ambientais (chuva, temperatura e distância das capturas), as presas mais importantes e a contaminação por MP (fibras azuis e filmes pretos) ingeridas por <i>R. porosus</i> nas estações início da seca, final da seca, início da chuva e final da chuva na zona costeira. (* p<0.05).....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	MATERIAIS E METODOS	16
2.1	ÁREA DE ESTUDO	16
2.2	OBTENÇÃO DOS EXEMPLARES DE <i>R. porosus</i>	17
2.3	DEFINIÇÃO DAS FASES ONTOGENÉTICA.....	18
2.4	CÁLCULO DA CPUE.....	18
2.5	ECOLOGIA DA ALIMENTAÇÃO E CONTAMINAÇÃO.....	19
2.6	DELINEAMENTO AMOSTRAL.....	21
2.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	22
3	ANÁLISE DA ESTRUTURA DO POLÍMERO MICROPLÁSTICO	24
4	RESULTADOS	25
4.1	DEFINIÇÃO DAS FASES ONTOGENÉTICAS.....	25
4.2	MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DE <i>R. porosus</i>	28
4.3	ECOLOGIA ALIMENTAR.....	32
4.4	CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS.....	41
4.5	ESTRUTURA BÁSICA DO POLÍMERO.....	42
5	INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NOS PADRÕES DE CONTAMINAÇÃO POR MP E INGESTÃO DE PRESAS.....	53
6	DISCUSSÃO.....	56
7	CONCLUSÃO.....	62
8	ARTIGO 1 - TOP PREDATOR FEEDING ECOLOGY AND MICROPLASTIC (MP) CONTAMINATION IN THE FAR EASTERN SOUTH AMERICA'S COAST: EVIDENCE OF MP TROPHIC BIOTRANSFER.....	64
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Os Elasmobrânquios ocupam uma posição de destaque na cadeia trófica em áreas tropicais e subtropicais pela capacidade de consumir uma grande variedade de organismos marinhos (Camhi *et al.*, 1998). Na costa do Brasil, duas espécies do gênero *Rhizoprionodon* (*R. lalandii* (Müller & Henle, 1839) e *R. porosus* (Poey, 1861)) destacam-se por sua predominância na plataforma continental.

No Sul e Sudeste do Brasil, estudos realizados com o *R. lalandii* mostraram que a espécie se alimenta principalmente de peixes (Bornatowski *et al.*, 2012; 2014, Viana *et al.*, 2017). Esses estudos indicam que essa espécie apresenta mudanças da dieta durante o seu desenvolvimento ontogenético. Os itens mais importantes da dieta alimentar dos neonatos, jovens e adultos capturados no litoral do Paraná, foram os teleósteos, crustáceos e cefalópodes (Bornatowski *et al.*, 2014). No litoral do Rio de Janeiro, adultos e jovens dessa espécie se alimentam principalmente de peixes (Viana *et al.*, 2017). Nesses estudos os autores não detectaram variações das dietas entre os sexos. Além disso, Bornatowski *et al.* (2012) não detectaram diferenças significativas na dieta em função das estações do ano.

Estudos sobre a ecologia alimentar do *R. porosus* foram realizados no litoral do Maranhão e da Paraíba (Almeida; Silva., 2001; Shibuya; Rosa., 2019). Nessa região essa espécie alimenta-se principalmente de crustáceos e peixes em todas as estações do ano (Almeida; Silva., 2001; Shibuya; Rosa., 2019). Apesar da dieta de *R. lalandii* variar com o desenvolvimento ontogenético, isso não foi detectado para *R. porosus*. Independente disso, em ambas as regiões não foram realizados estudos sobre a correlação entre a dieta alimentar e a contaminação por microplásticos (MPs).

Levando em consideração os estudos realizados sobre ecologia alimentar e da contaminação por MPs dos principais níveis tróficos de espécies de peixe teleósteos demersais, foram descritas mudanças na dieta alimentar e na contaminação por MP durante o desenvolvimento ontogenético em função das variáveis espaço e tempo (Dantas *et al.*, 2013; 2015; Ferreira *et al.*, 2019a). Nesses estudos, os diferentes níveis tróficos, como por exemplo, os consumidores secundários *Cathorops spixii* (Agassiz, 1829) (Possatto *et al.*, 2011; Dantas *et al.*, 2013), *Eugerres brasilianus* (Cuvier 1830) (Ramos *et al.*, 2012; 2016), *Stellifer stellifer* (Bloch, 1790) (Dantas *et al.*, 2015) e os predadores de

topo como o *Cynoscion acoupa* (Lacépède, 1801) (Ferreira *et al.*, 2016; 2018) e o *Centropomus spp.* (Ferreira *et al.*, 2019a; 2019b) apresentam uma dieta específica para cada fase ontogenética em função da flutuação sazonal do gradiente de salinidade em um ecossistema estuarino. A sazonalidade também é uma variável que influencia a contaminação por MP em todas as estações, principalmente no final do período de chuva, quando aumenta a vazão de rios concentrando esse poluente na porção inferior do estuário e na região costeira (Lima *et al.*, 2014). Com isso, a probabilidade de uma presa (e.g. invertebrados e peixes) se contaminar com MP é maior podendo intensificar a transferência trófica desses poluentes durante esse período para os níveis tróficos superiores (e.g. predadores de topo e teleósteos) (Ferreira *et al.*, 2019a; Barletta *et al.*, 2019). Levando em consideração que essas espécies de peixes estuarinas e/ou estuarino- dependentes (presas contaminadas com MPs) se deslocam para a região costeira durante o final do período de chuva, poderia aumentar a probabilidade de *R. porosus* (predador de topo) se contaminar por MPs através do processo de transferência trófica. Contudo, estudos sobre ecologia alimentar e contaminação de MPs para essa espécie ainda não foram realizados.

Os MPs (<5mm) surgem através do processo de degradação dos plásticos no ambiente marinho (Gewert *et al.*, 2015; Costa; Barletta., 2015). Os MPs encontrados no ambiente marinho tem a sua origem a partir das bacias hidrográficas e através dos estuários chegam até a região costeira (Thompson *et al.*, 2004; Lima *et al.*, 2014; 2015; Barletta *et al.*, 2019). A prevalência desses poluentes no ambiente é consequência das interações antrópicas, atividades de pesca nos estuários (Possatto *et al.*, 2011; Costa; Barletta, 2015; Barletta *et al.*, 2019) e atividades industriais (Salazar-Pérez *et al.*, 2021). A alta disponibilidade de MP no ambiente marinho pode contaminar praticamente qualquer nível trófico quando são ingeridos e posteriormente podem ser transferidos para níveis tróficos superiores (Ferreira *et al.*, 2018; 2019a; 2019b; Barletta *et al.*, 2019).

Recentemente, a Organização das Nações Unidas (ONU) priorizou estudos sobre ecologia alimentar e contaminação de espécies ameaçadas de extinção para a conservação de seus habitats, declarando o período 2021-2030 a “Década das Nações Unidas para a Restauração de Ecossistemas” (Walthan *et al.*, 2020). O objetivo desta declaração é reconhecer a necessidade de acelerar a restauração global de ecossistemas degradados para combater a crise do aquecimento climático, aumentar a segurança alimentar, fornecer água limpa e proteger a biodiversidade do planeta. A Década sobre

Restauração de Ecossistemas coincide com a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável, que visa reverter a deterioração da saúde dos oceanos (Ryabinin *et al.*, 2019). A falta de dados sobre a ecologia das espécies costeiras e a escassez de estatísticas pesqueiras dificultam a tomada de medidas preventivas. Assim, o estudo da ecologia trófica e contaminação por microplástico em *R. porosus* e suas correlações com seu ciclo de vida e sazonalidade é inédito e necessário para aplicar medidas de conservação para esta espécie.

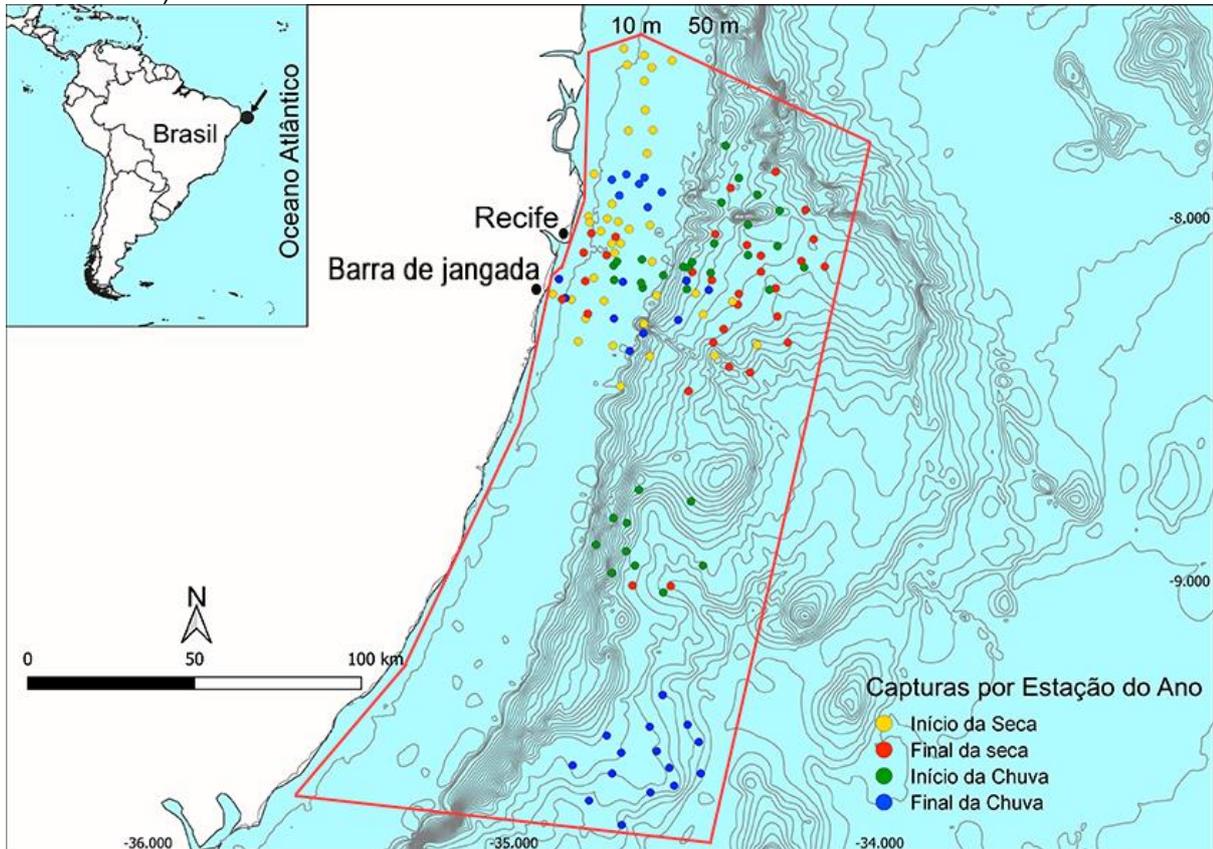
Com base nessas informações, este estudo tem como objetivo descrever a ecologia alimentar e a contaminação por MP nas diferentes fases ontogenéticas de *Rhizoprionodon porosus* sobre a variação sazonal na plataforma continental da porção leste da América do Sul. A hipótese a ser testada neste estudo é se a distribuição, a ecologia alimentar e a contaminação por microplásticos nas diferentes fases ontogenéticas de *R. porosus* independem do padrão sazonal de precipitação pluviométrica. Além disso, as informações geradas por este estudo contribuirão para a conservação desta espécie que ocorre na região costeira do Estado de Pernambuco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada na plataforma continental da porção mais oriental da América do Sul (Figura 1). Essa região caracteriza-se por apresentar um clima tropical úmido e umidade relativa do ar média anual oscilando entre 50 e 90% (Aragão, 2004). Predominam ventos com velocidades médias entre 3 e 5 m/s, vindos principalmente do leste, no período de outubro a março e sul-sudeste, no período de abril a setembro (Aragão, 2004; Manso *et al.*, 2006). A pluviosidade dessa região determina um forte padrão sazonal com valores superiores a 400mm na estação de chuva e inferiores a 50mm na estação da seca com média anual de 2000mm aproximadamente e temperatura média anual de 27°C (Manso *et al.*, 2006; Barletta; Costa., 2009). As estações do ano serão divididas de acordo com a pluviometria local em início da seca (setembro a novembro), final da seca (dezembro a fevereiro), início da chuva (março a maio) e final da chuva (junho a agosto) (Barletta; Costa., 2009). Essa área é caracterizada pela presença de estuários e durante o período do final da chuva a pluma estuarina se estende até a área de estudo. Por outro lado, durante a estação do final da seca a zona nerítica influencia a porção interna dos estuários (Barletta *et al.*, 2005). Essa dinâmica entre os estuários e a zona nerítica promove mudanças na salinidade que influenciam na movimentação e ecologia alimentar dos peixes dessa área (Barletta *et al.*, 2005; Barletta; Costa., 2009).

Figura 1- Área de estudo na plataforma continental interna oriental da América do Sul (). Essa área corresponde à zona de operação da frota pesqueira artesanal local. Cada ponto corresponde às capturas georreferenciadas de *R porosus* durante as estações (início da seca; final da seca; início da chuva; final da chuva) na zona costeira



Fonte: O autor (2023).

2.2 OBTENÇÃO DOS EXEMPLARES DE *R. porosus*

As coletas foram realizadas durante 13 meses (iniciando em agosto de 2020 até julho de 2021, com coletas também em janeiro de 2022 e junho de 2022), em 4 estações (início e final das estações de chuva e seca) (Barletta *et al.*, 2005; Barletta; Costa, 2009) através da atuação de um barco da frota pesqueira da colônia de pescadores de Barra de Jangada (PE), com autorização ambiental para atividades com finalidade científica (SISBIO nº 11050-1). Amostras piloto foram obtidas no entreposto pesqueiro de Brasília Teimosa (Recife/PE) entre agosto e outubro de 2020 para avaliação do potencial da espécie para a realização do projeto.

A frota pesqueira do entreposto de Barra de Jangada é composta por 8 barcos de madeira (6 a 12 metros de comprimento), motorizados com potência variando entre 8 e 24

HP e capacidade de pescar até 60 kg de pescado por cada barco. Serão adquiridos 10 indivíduos por mês da espécie *R. porosus*, utilizando redes de emalhe de superfície (caceio). As redes de emalhe possuem comprimentos entre 100 e 160 m e altura entre 3 e 4,5 m, com malhas variando de 20 a 40mm entre nós opostos. Essa atividade pesqueira é voltada para a pesca do peixe serra (*Scomberomorus brasiliensis* (Collette, Russo & Zavala-Camin, 1978)) e da guarajuba (*Caranx bartholomaei* (Cuvier, 1833)).

O local das coletas foi georreferenciado (Garmin GPSMAP 65) e as informações sobre precipitação estão sendo obtidas da estação meteorológica do porto do Recife. Essas informações serão utilizadas para caracterizar as estações do ano (seca e chuva) e para fazer a correlação com os dados da ecologia alimentar e contaminação por microplásticos. Os exemplares foram identificados utilizando chaves taxonômicas propostas por Figueiredo (1977) e Compagno (1984).

2.3 DEFINIÇÃO DAS FASES ONTOGENÉTICAS

Foram obtidos o peso e comprimento de 135 exemplares de *R. porosus* e a partir dessas informações foram utilizadas a relação entre peso e comprimento e a regressão logística para a classificação das fases ontogenéticas. Além disso, características morfológicas dos espécimens (presença de cicatriz umbilical, desenvolvimento de clássper, testículos e ovários) foram utilizadas para auxiliar na classificação ontogenética.

2.4 CÁLCULO DA CPUE

A Captura por unidade de esforço (CPUE) foi calculada acompanhando a atividade de um barco pesqueiro da colônia de pescadores de Barra de Jangada que utiliza redes de emalhe de superfície para a pesca, durante 13 meses de coleta. Para o cálculo da CPUE, a unidade de esforço para esse estudo foi definida como a captura por dia de pesca efetivo de uma embarcação. Entendendo-se como dia de pesca efetivo, qualquer dia em que houve a captura de qualquer peixe com a utilização das redes de emalhe de superfície. Sendo assim, o cálculo da CPUE foi feito com a seguinte fórmula:

$$CPUE = C_{peixes}/Barco/Dia$$

Onde C_{peixes} representa o somatório da captura total em número e peso de peixes por barco por dia de pesca efetivo. Para calcular a CPUE foi feita a diferença entre o somatório da captura total de peixes (C_{peixes}) e o somatório da captura total de Elasmobrânquios ($C_{Elasmobrânquios}$) e após foi calculada a captura de *R. porosus* com base nos dados de captura de Elasmobrânquios. Nesse estudo a CPUE em número e peso foram nomeadas de $CPUE_N$ e $CPUE_P$, respectivamente. Portanto, a densidade e a biomassa do *R. porosus* serão associadas a essas variáveis respectivamente.

2.5 ECOLOGIA DA ALIMENTAÇÃO E CONTAMINAÇÃO

Depois de identificados, os indivíduos foram medidos, pesados, sexados e classificados de acordo com o seu tamanho e fase de desenvolvimento, prosseguindo com a evisceração e remoção do trato digestivo (estômago e intestino). Os conteúdos dos estômagos e intestinos foram analisados e identificados ao menor nível taxonômico possível em placas de Petri fechadas utilizando um microscópio estereoscópico (Zeiss Stemi 2000-C). Quando encontradas partículas de plásticos no conteúdo estomacal, elas foram armazenadas em placas de Petri cobertas e secas na estufa a 70°C por 48h e posteriormente fotografadas e avaliadas quanto a sua forma e cor de acordo com a metodologia proposta por Barletta *et al.* (2020). Após as fotografias e classificação quanto a cor e tipo de microplástico, uma subamostragem de 3 microplásticos por conteúdo estomacal foi feita para aferir as medidas de comprimento e largura e todos os microplásticos encontrados foram armazenados em microtubos eppendorf devidamente identificados para cada cor e tipo. Além disso, as presas encontradas nos estômagos de *R. porosus* também tiveram seus conteúdos estomacais avaliados quanto à presença de MP e avaliação de possível transferência trófica de MP, seguindo a mesma metodologia utilizada para os estômagos de *R. porosus*. Para evitar a contaminação das amostras com MP de outras fontes o laboratório teve seu acesso restrito e foi previamente limpo durante todas as fases do projeto. foram utilizados aventais de 100% algodão e luvas descartáveis de látex durante todos os passos da análise e todos os instrumentos do laboratório e superfícies de trabalho foram lavados com água destilada e inspecionados quanto a contaminação antes do uso para prevenir qualquer contaminação cruzada. Os potenciais

plásticos separados serão submetidos às análises por Microscopia Óptica (MO), infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e pela técnica EDS (espectroscopia de raios-X por dispersão de energia), para determinar a composição do detrito plástico e interpretar a sua provável origem.

A quantificação dos itens alimentares ingeridos seguiu três critérios (Hynes, 1950; Hyslop, 1980):

1. A porcentagem de frequência de ocorrência de cada presa de acordo com a equação:

$$\%F_i = (F_i/F_t) \times 100$$

Onde F_i é o número de estômagos contendo o item alimentar i e F_t é o número total de estômagos examinados (Hyslop, 1980).

2. A porcentagem de abundância das presas em número (%N) de acordo com a equação:

$$\%N_i = (N_i/N_t) \times 100$$

Onde N_i é o número de itens alimentares i e N_t é o número total de itens alimentares nos estômagos examinados (Hyslop, 1980).

3. A porcentagem de abundância das presas em peso (%W) de acordo com a equação:

$$\%W_i = (W_i/W_t) \times 100$$

Onde W_i é o peso do item alimentar i e W_t é o peso total dos itens alimentares nos estômagos analisados (Hyslop, 1980).

O índice de importância relativa (IRI) (Pinkas *et al.*, 1971; Prince, 1975), que incorpora a frequência de ocorrência (% F_i), porcentagem por número (% N_i), e porcentagem por peso (% W_i), foi utilizado de acordo com a equação:

$$IRI_i = \%F_i \times (\%N_i + \%W_i)$$

Esse índice foi expresso em porcentagem de cada presa de acordo com a seguinte equação proposta por Pinkas *et al.* (1971) e Prince (1975):

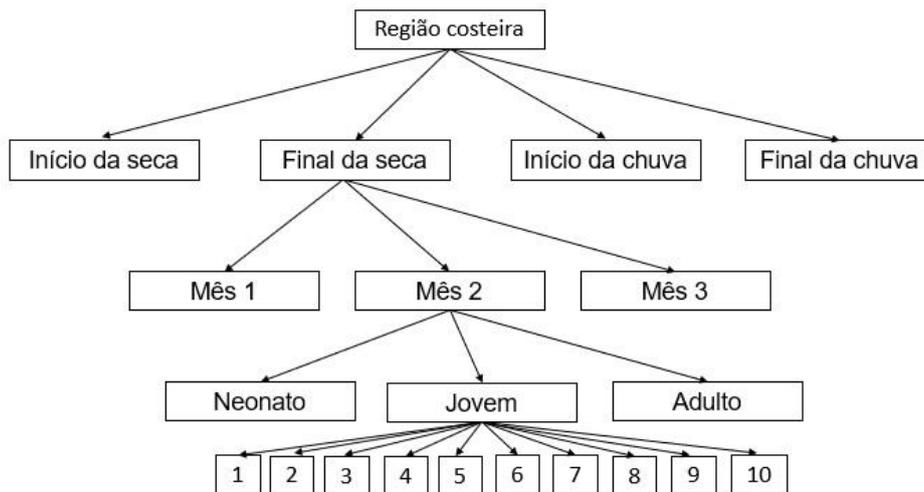
$$\%IRI = 100 (IRI \sum_{i=1}^n IRI)^{-1}$$

Onde o n é o número total de categorias de itens alimentares (Cortés, 1997).

2.6 DELINEAMENTO AMOSTRAL

Para analisar a distribuição espaço-temporal da espécie na zona costeira, foram coletados 10 indivíduos de *R. porosus* por mês com redes de emalhe de superfície utilizadas por um barco da frota pesqueira local durante as quatro estações definidas pela precipitação (início da seca, final da seca, início da chuva e final da chuva) entre agosto de 2020 e junho de 2021 na região costeira. Para o estudo de ecologia alimentar, cada espécime, dentro de cada fase ontogenética, representou uma réplica dentro de cada estação (Figura 2).

Figura 2 - Delineamento amostral: Ecologia Alimentar e Contaminação por Microplástico.



Fonte: (Modificado de Barletta *et al.*, 2020).

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A metodologia do modelo linear generalizado (GLM) foi proposta por Nelder & McCullagh (1983). Este modelo permite acomodar distribuições contínuas e discretas (Kutner *et al.*, 2005). Neste estudo as variáveis resposta CPUE_N, CPUE_P e contaminação por microplástico (MP) foram denominadas Y. As variáveis CPUE_N e CPUE_P possuem valores positivos e zero. Com base nessa característica, os dados foram ajustados na distribuição Gama Ajustada a Zero (ZAGA). Esta distribuição depende de três parâmetros (μ , σ , ν) (Rigby *et al.*, 1999).

A distribuição ZAGA com função de densidade de probabilidade é dada por:

$$f_Y(y|\mu, \sigma, \nu) = \begin{cases} \nu & \text{if } y = 0 \\ (1 - \nu) \left[\frac{1}{(\sigma^2 \mu)^{1/\sigma^2}} \frac{y^{1/\sigma^2 - 1} \exp\{-y/(\sigma^2 \mu)\}}{\Gamma(1/\sigma^2)} \right] & \text{if } y > 0 \end{cases} \quad (1)$$

para $0 \leq y < \infty$ onde $0 < \nu < 1$, $\mu > 0$, e $\sigma > 0$ com $E(Y) = (1 - \nu) \mu$, $\sigma > 0$,
 $\text{Var}(Y) = (1 - \nu) \mu^2 (\nu + \sigma^2)$

O modelo de regressão ZAGA para CPUE_N e CPUE_P é dado por:

$$\text{Log}(\mu_i) = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_{1i} \text{Estação}_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{2i} \text{Fase}_i + \beta_3 \text{Chuva} + \beta_4 \text{Distancia} + \varepsilon \quad (2)$$

Onde, $\sum_{i=1}^4 \beta_{1i} = 0$, $\sum_{i=1}^3 \beta_{2i} = 0$, $\sum_{i=1}^3 \beta_{3i} = 0$, \forall_i . E $\text{Log}\left(\frac{\mu}{1 - \mu}\right) = \alpha_0$

A variável de resposta MP tem uma característica importante por representar uma distribuição de contagem. Inicialmente foi sugerida a distribuição de Poisson para o ajuste dos dados, onde se esperava que a Esperança (Y) = Variância (Y). No entanto, foi observada a ocorrência do fenômeno de super dispersão, onde a Variância (Y) > Esperança (Y). Por esta razão, os dados foram ajustados na distribuição Binomial Negativa (BN), que depende de dois parâmetros (μ , σ) (Rigby *et al.* 1999).

A distribuição BN com função de densidade de probabilidade é dada por:

$$f_Y(y|\mu, \sigma,) = \frac{\Gamma(y + 1/\sigma)}{\Gamma(1/\sigma)\Gamma(y + 1)} \left(\frac{\sigma y \mu}{1 + \sigma y \mu} \right)^y \left(\frac{1}{1 + \sigma y \mu} \right)^{1/\sigma} \quad (3)$$

Para $0, 1, 2, \dots$ onde $\mu > 0$, e $\sigma > 0$ com $E(Y) = \mu$, $\text{Var}(Y) = \mu^2 (v + \sigma^2)$

O modelo de regressão BN para MP é dado por:

$$\text{Log}(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_{1i} \text{Estação}_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{2i} \text{Fase}_i + \beta_3 \text{Chuva} + \beta_4 \text{Distancia} + \beta_5 \text{Peixe}_{\text{presai}} + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 \beta_{6ij} \text{Estação}_i * \text{Fase}_j + \epsilon \quad (4)$$

Onde, $\sum_{i=1}^4 \beta_{1i} = 0$, $\sum_{i=1}^3 \beta_{2i} = 0$, $\sum_{i=1}^3 \beta_{3i} = 0$, $\forall_i \sum_{i=1}^4 \beta_{6ij} \forall_j$, $\sum_{i=1}^3 \beta_{6ij} \forall_i$. E $\text{Log} \left(\frac{\mu}{1-\mu} \right) = \alpha_0$

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) foi realizada para investigar as interações ecológicas entre variáveis ambientais (chuva, distância das capturas e temperatura), contaminação por MP (fibras azuis e filmes pretos), itens alimentares (*Lutjanus analis* (Curvier, 1828) (*Lutanal*), *Harengula clupeola* (Curvier, 1829) (*Harclup*), *Haemulopsys corvinaeformis* (Courtenay, W.R. & H.F. Sahlman, 1978) (*Haecor*), *Monacanthus ciliatus* (Mitchill, 1818) (*Moncil*), *R. bahiensis* (Steindachner, 1879) (*Rhibah*), *Eucinostomus melanopterus* (Bleeker, 1863) (*Eucmel*), *Haemulon aurolineatum* (Curvier, 1830) (*Haeaur*), *Lutjanus synagris* (Linnaeus, 1758) (*Lutsyn*), *Pseudupeneus maculatus* (Block, 1793) (*Psemac*) e *Polydactylus virginicus* (Linnaeus, 1758) (*Polvir*) e as interações dos fatores estação (IS; início da seca, FS; final da seca, IC; início da chuva e FC; final da chuva) e fases ontogenéticas de *R. porosus* (neonato, jovem e adulto) na zona costeira. (Palmer, 1993; Ter Braak e Smilauer, 2002).

3 ANÁLISE DA ESTRUTURA DO POLÍMERO MICROPLÁSTICO

As amostras de microplástico foram analisadas por Microscopia Óptica (MO), infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e por Espectroscopia de Raios X por Dispersão de Energia (EDS). A MO foi utilizada para avaliar as características do MP, como cor e forma. Por outro lado, o MEV foi usado para avaliar a estrutura do polímero plástico base na amostra e o FTIR para identificar o tipo de polímero que originou o microplástico. Para avaliar a presença de metais ou microrganismos na amostra de MP, foi feita uma abordagem refinada da composição do MP pela técnica EDS que é analítica e utilizada para a análise elementar de uma amostra. A técnica baseia-se na investigação de uma amostra por meio de interações entre partículas e matéria, analisando os raios X emitidos pela matéria em resposta à incidência de partículas carregadas. A caracterização se deve ao princípio de que cada elemento possui uma estrutura atômica própria, que é única. Portanto, os raios X emitidos são característicos desse elemento.

4 RESULTADOS

4.1 DEFINIÇÃO DAS FASES ONTOGENÉTICAS

Foram obtidos o peso e comprimento de 135 exemplares de *R. porosus* e a partir dessas informações foi desenvolvida uma relação entre peso e comprimento. Essa relação possibilitou a observação de três áreas distintas no gráfico gerado: na primeira, os indivíduos possuíam um comportamento de crescimento alométrico negativo, na segunda área, o crescimento da espécie se mostrou isométrico e na terceira área, o crescimento apresentava-se alométrico positivo.

A definição das áreas de crescimento possibilitou a diferenciação entre duas fases ontogenéticas, os neonatos possuem maior crescimento em comprimento do que ganho de peso e encontravam-se agregados na área alométrica negativa do gráfico e os jovens apresentam uma relação proporcional entre o ganho de comprimento e peso, logo essa fase ontogenética ficou restrita à área isométrica do gráfico e os indivíduos adultos possuem um maior ganho de peso em detrimento do comprimento, ficando localizados na região alométrica positiva do gráfico. Porém as áreas de transição entre os jovens e adultos não se mostram tão claras nessa relação quanto a divisão entre neonatos e jovens.

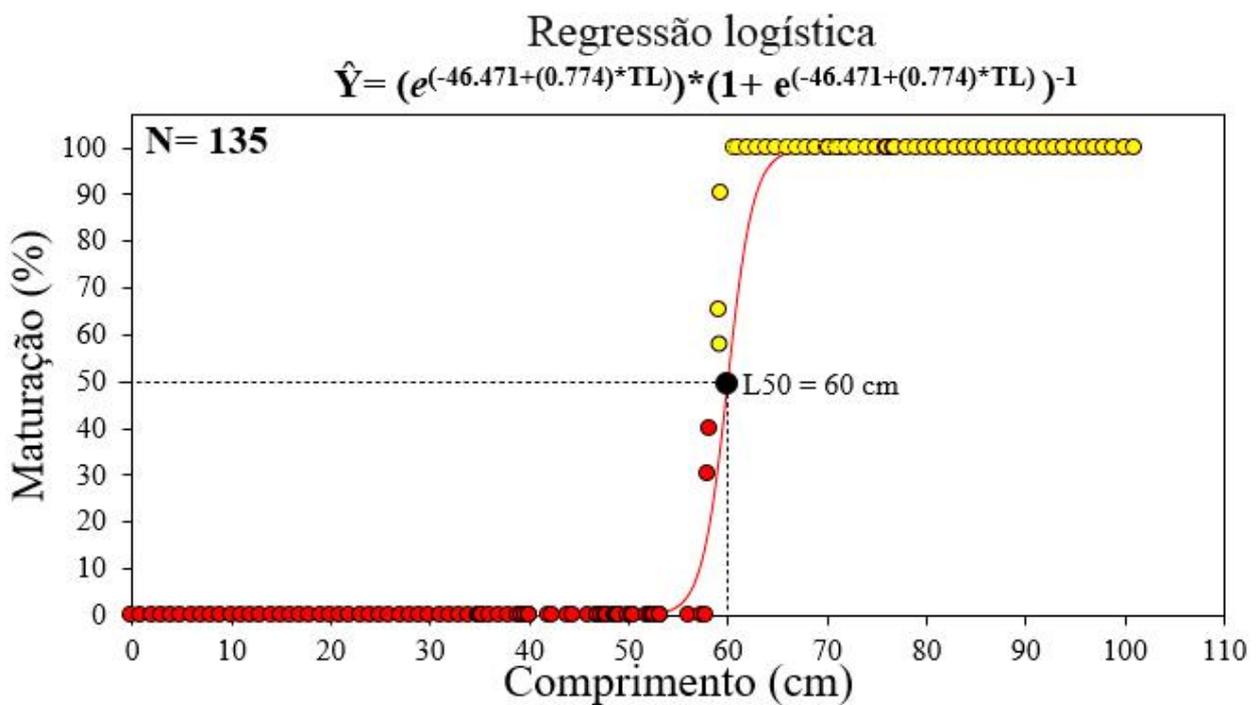
Dessa forma, fez-se necessária a utilização de uma regressão logística para determinar a frequência de maturação dos indivíduos e a partir do L50 (comprimento onde 50% dos indivíduos estão maduros) foram separados os espécimes jovens dos adultos. (Figura 3)

A regressão logística revelou um L50 de 60 cm considerando indivíduos dos dois sexos e a partir desse dado, a classificação das fases ontogenéticas foi concluída (Figura 4). Como resultados dessa classificação foi definido que o comprimento máximo dos neonatos é de 39.9 cm, nos jovens de 60cm e os indivíduos que excederam o comprimento de 60 cm foram considerados adultos.

Outras características foram utilizadas para corroborar com os dados de separação ontogenética e maturação descritos anteriormente. Nos neonatos a presença da cicatriz umbilical (Figura 5 A) foi uma característica utilizada para definir a fase ontogenética, para os jovens machos foi observada a flexibilidade e comprimento do clássper (Figura 5 B) que nessa fase apresentam-se flexíveis, não calcificados e não ultrapassam as nadadeiras

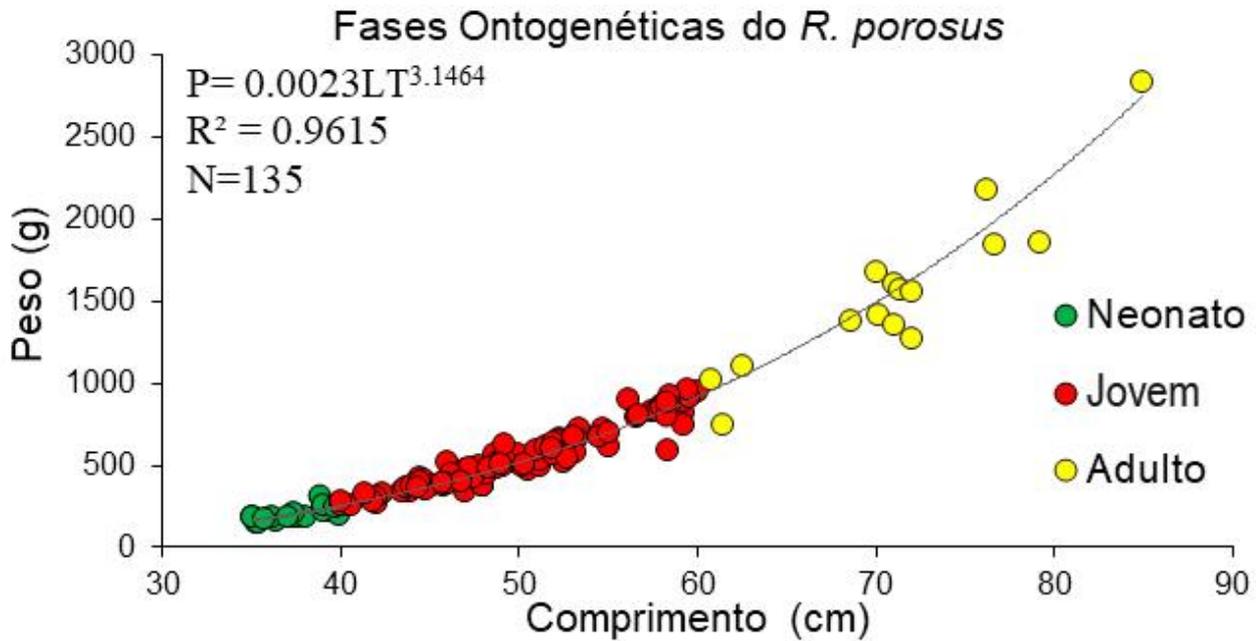
pélvicas em comprimento, já para as fêmeas jovens foram observadas as características macroscópicas dos ovários, que não apresentam folículos nessa fase. Para os adultos machos as principais características observadas para a classificação ontogenética são a rigidez e calcificação do clássper e o comprimento ultrapassando as nadadeiras pélvicas (Figura 5 C), para as fêmeas adultas observa-se o desenvolvimento uterino e a presença de folículos ovarianos (Figura 5 D), demonstrando a maturidade e aptidão para a reprodução, características marcantes em indivíduos adultos.

Figura 3 - Regressão logística para machos e fêmeas de *R porosus*.



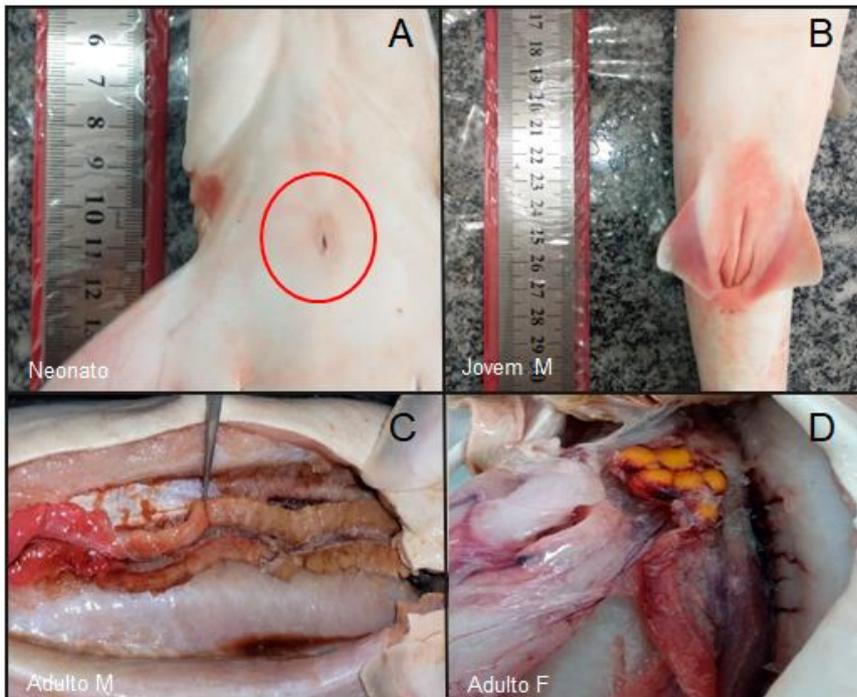
Fonte: O autor (2023).

Figura 4 - Classificação ontogenética do *R. porosus* em Neonato (verde), Jovem (vermelho) e Adulto (amarelo).



Fonte: O autor (2023).

Figura 5 - Caracterização das fases ontogenéticas pela morfologia dos espécimes. Cicatriz umbilical em neonato (A), clásser pequeno e flácido em macho jovem (B), desenvolvimento do testículo em macho adulto (C), folículos ovarianos em fêmea adulta (D).



Fonte: O autor (2023).

4.2 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DE *R. porosus*

Durante o período de amostragem foram coletados 135 espécimes de *R. porosus* totalizando $1,3 \pm 0,3$ ind.dia⁻¹ e 877 ± 237 g.dia⁻¹ (Tabela 1). As capturas de cada fase ontogenética das espécies variam em função da estação do ano.

O modelo de regressão ZAGA para CPUE (em número e peso) demonstrou diferenças significativas para a estação, fase ontogenética, distância da captura da costa e chuva ($p < 0,01$) (Figura 6 A e B, Tabela 2). Isso significa que a concentração de cada fase ontogenética na região costeira varia em função das estações. A chuva influenciou positivamente as capturas dos *R. porosus* em densidade e biomassa ($p < 0,01$). Por outro lado, a distância das capturas para a costa influenciou negativamente a distribuição dos indivíduos desta espécie. Durante a estação final da seca, os neonatos e jovens apresentaram a maiores medias de densidade ($1,67 \pm 1,67$ ind.dia⁻¹ e $3,2 \pm 0,59$ ind.dia⁻¹) e biomassa (344 ± 344 g.dia⁻¹ e $1688 \pm 84,18$ g.dia⁻¹) (Figura 6). Durante os anos de amostragem, os jovens foram capturados principalmente a mais de 32 km da costa (Tabela 1). Os adultos apresentaram maior densidade e biomassa durante o final da estação chuvosa e início da estação seca, principalmente entre 6,3 e 32 km da costa ($1,2 \pm 0,2$ ind.dia⁻¹ e $1498,3 \pm 303,02$ g.dia⁻¹ e $1,3 \pm 0,7$ ind.dia⁻¹ e $2491,3 \pm 1272,71$ g.dia⁻¹, respectivamente).

Os gráficos dos resíduos de desvio versus valores ajustados (Figura 7a e 8a) e versus gráfico de índice (Figura 7b e 8b) mostram comportamento aleatório e dispersão constante. As Figuras 7c e 8c evidenciam que os resíduos têm uma boa aproximação da distribuição normal. Os gráficos de probabilidade normal mostram que não existem fortes evidências de violações do modelo de suposições (Figura 7d e 8d) Portanto o modelo ajustado ZAGA é considerado adequado para prever a densidade e biomassa de *R. porosus*. Além disso, 97,2% dos os resíduos pertencem [-2 ; 2].

Tabela 1 - Médias e erro padrão (EP) da densidade (N), biomassa (P), distância das capturas (Dist.) e chuva das fases ontogenéticas de *R. porosus* em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (SC) e final da chuva (FC) na região costeira.

Fase ontogenética	Estação	N (ind.dia ⁻¹)	± EP	P (g.dia ⁻¹)	± EP	Dist. (Km)	± EP	Chuva (mm)	± EP
Neonato	IS	0.9	0.5	179.5	97.2	19.7	13	51.8	5.9
	FS	1.7	1.7	344	344	15	15	123	53.6
	IC	0.3	0.3	83	83	13	13	423	105.7
	FC	0.7	0.7	61	61	23	23	147	30.4
Jovem	IS	2	0.2	1096	153.1	15.4	18	51.8	5.9
	FS	3.1	0.6	1688	84.1	33	12.3	123	53.6
	IC	2.2	0.6	1406	351.1	37	7.7	423	105.7
	FC	2	0.3	1217	232.0	32	17	147	30.4
Adulto	IS	1.3	0.7	2491.3	1272.7	6.3	3.2	51.8	5.9
	FS							123	53.6
	IC	0.3	0.33	458	458	14	14	423	105.7
	FC	1.2	0.2	1498.3	303	32	19	147	30.4
	Total	1.3	0.27	877	232	22	3.6	186.2	42.5

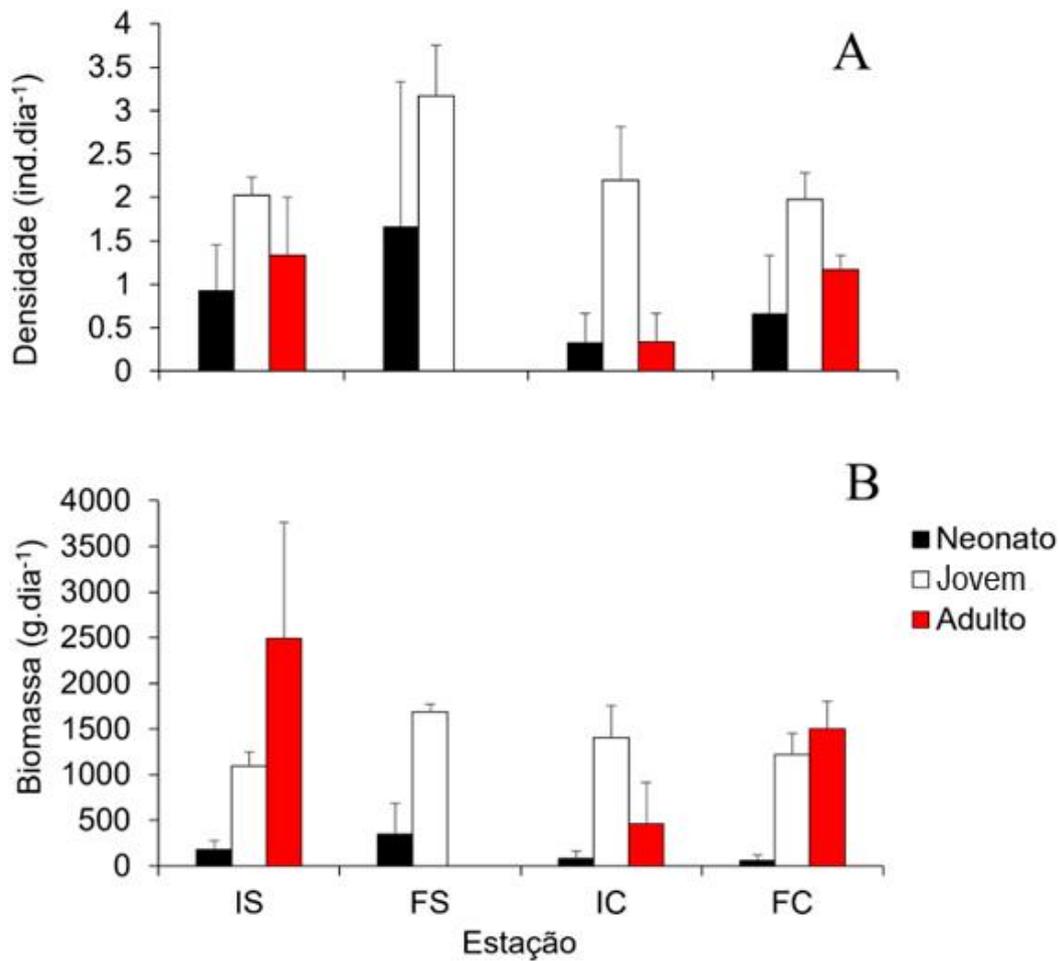
Fonte: O autor (2023).

Tabela 2 - Sumário da distribuição ZAGA para os dados de densidade (A) e biomassa (B) de *R. porosus* com os fatores estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC), fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto), chuva e distância das capturas na região costeira (Códigos de significância: 'ns' não significativo '***' p<0.001 '**' p<0.01 '*' p<0.05)

	Fator	Estimativa	Erro padrão	Valor t	P (> t)	Significância
A. Densidade	Intercepto	0.285	0.178	1.609	0.120	ns
	IS	0.326	0.157	2.073	0.048	*
	IC	-1.030	0.254	-4.059	0.0004	***
	FS	0.699	0.127	5.497	$9.11e^{-6}$	***
	Adulto	-0.253	0.096	-2.648	0.0136	*
	Jovem	0.198	0.079	2.507	0.019	*
	Chuva	0.003	0.001	3.572	0.001	**
	Distância	-0.009	0.004	-2.185	0.0381	*
B. Biomassa	Intercepto	7.007	0.248	28.208	$< 2e^{-16}$	***
	IS	0.375	0.227	1.653	0.110	ns
	IC	-0.797	0.363	-2.199	0.037	*
	FS	0.521	0.190	2.751	0.011	*
	Adulto	0.545	0.134	4.014	0.0004	***
	Jovem	0.126	0.117	1.079	0.291	ns
	Chuva	0.003	0.001	2.118	0.044	*
	Distância	-0.014	0.006	-2.375	0.025	*

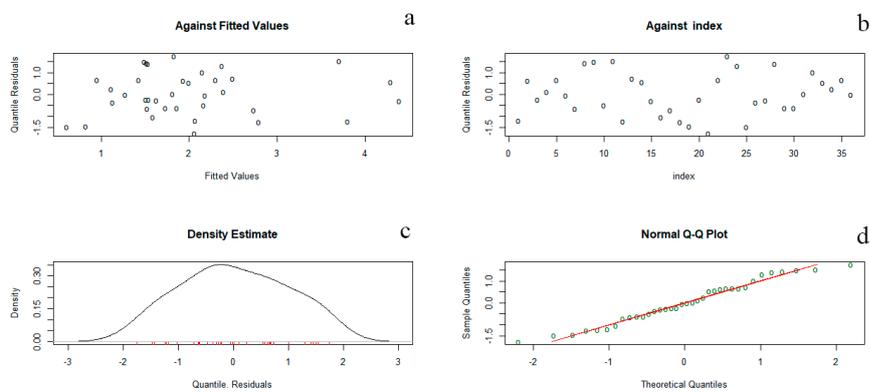
Fonte: O autor (2023).

Figura 6 - Densidade e Biomassa para as fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) nas estações de início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) na região costeira.



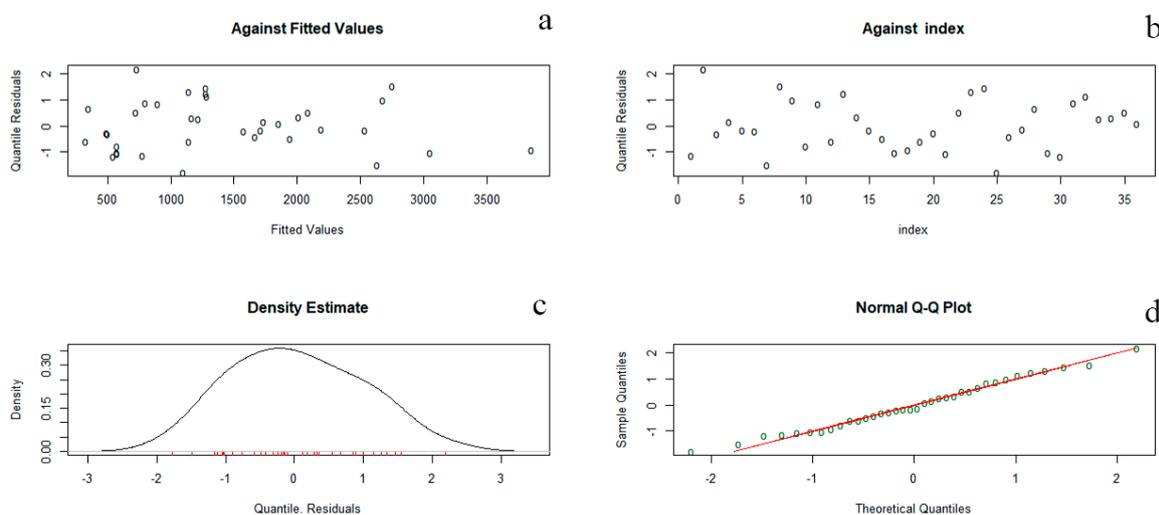
Fonte: O autor (2023).

Figura 7 – Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão ZAGA para a densidade de *R. porosus*.



Fonte: O autor (2023).

Figura 8 – Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão ZAGA para a biomassa de *R. porosus*.



Fonte: O autor (2023).

4.3 ECOLOGIA ALIMENTAR

Um total de 29 presas foram identificadas (Figura 9). Onde a frequência de ocorrência (FO) de itens alimentares mais importantes de *R. porosus*, independentemente das fases ontogenéticas e da estação do ano, foram peixes [peixe não identificado (FO=33,3%), Clupeidae (FO=4,4%), crustáceos (FO=2,3%, *Litopenaeus sp.*) e *Cephalopoda* (FO=10,3%, *Loligo sp.* (FO=9,6%).

Os neonatos predam principalmente peixes não identificados (FO=18,7%) *Rhinosardinia bahiensis* (FO=14,1%), *Stelifer sp.* (FO=16,6%) e *Polydactylus virginicus* (FO=40%), enquanto os jovens se alimentam principalmente de peixes não identificados (FO=36,4%), *Loligo sp.* (FO=10,4%) e *Clupeidae* (FO=6,4%). Adultos de *R. porosus* se alimentam de peixes não identificados (FO=32,3%), *Loligo sp.* (FO=20,8%) e *Monacanthus ciliatus* (FO=25%).

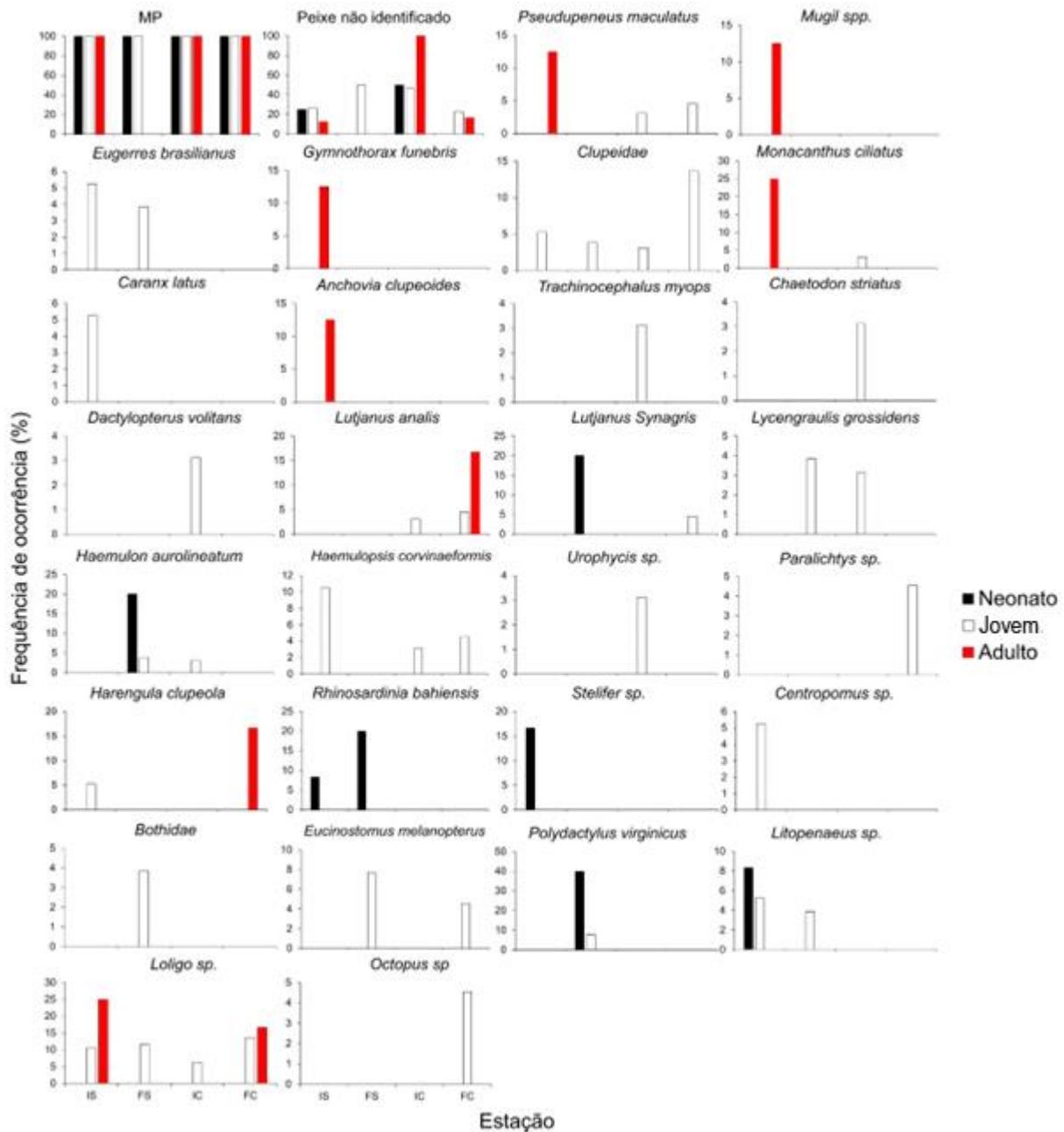
Os neonatos se alimentam principalmente de peixes em número durante a estação início da seca e em peso durante a estação final da seca. Os jovens alimentam-se de peixes em número e peso durante todas as estações (Figura 10 e 11). Os adultos se alimentam de peixes em maior quantidade numérica durante a estação início da seca e estações início e final da chuva. A contribuição do peixe

como item alimentar em peso para adultos foi mais evidente durante a estação início da seca e final da chuva (Figura 11).

O índice de importância relativa (IRI) para as fases ontogenéticas da dieta de *R. porosus* corrobora a ecologia alimentar piscívora principalmente para neonatos e adultos na estação início da chuva, onde as presas não identificadas tiveram 100% de importância relativa (Tabela 3).

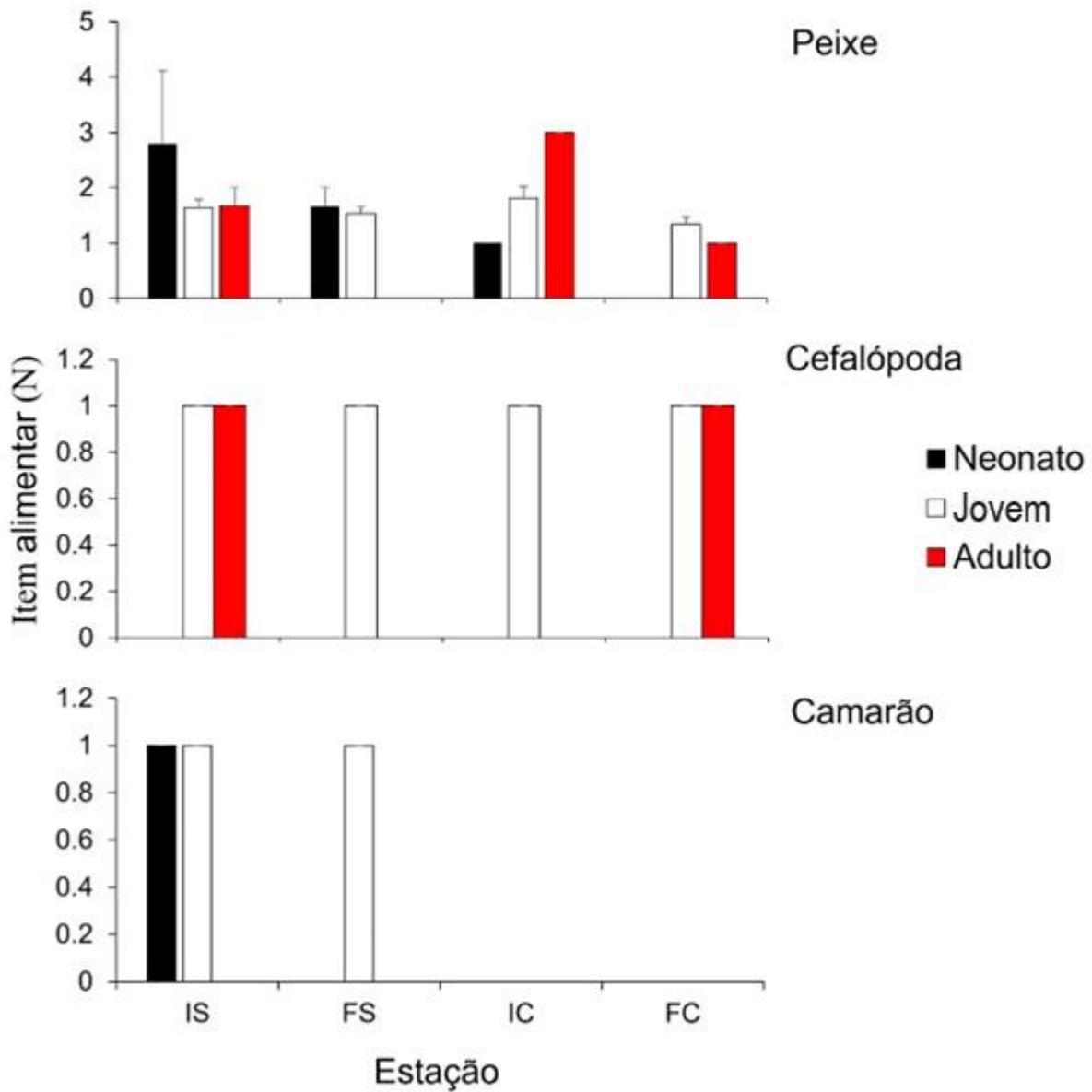
Considerando todos os alimentos ingeridos, o MP é o mais consumido do que qualquer outro (Figura 9). Além disso, detritos plásticos também foram encontrados no conteúdo estomacal das presas de *R. porosus* (Tabela 4.). Isso sugere que a contaminação por MP dessas espécies também está ocorrendo diretamente pelas presas contaminadas.

Figura 9 - Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) de itens consumidos por *R. porosus* em diferentes fases ontogenéticas (neonato, jovem, adulto) e estações (IS, início da seca; FS, Final da seca; IC, Início da chuva; FC, Final da chuva) na região costeira.



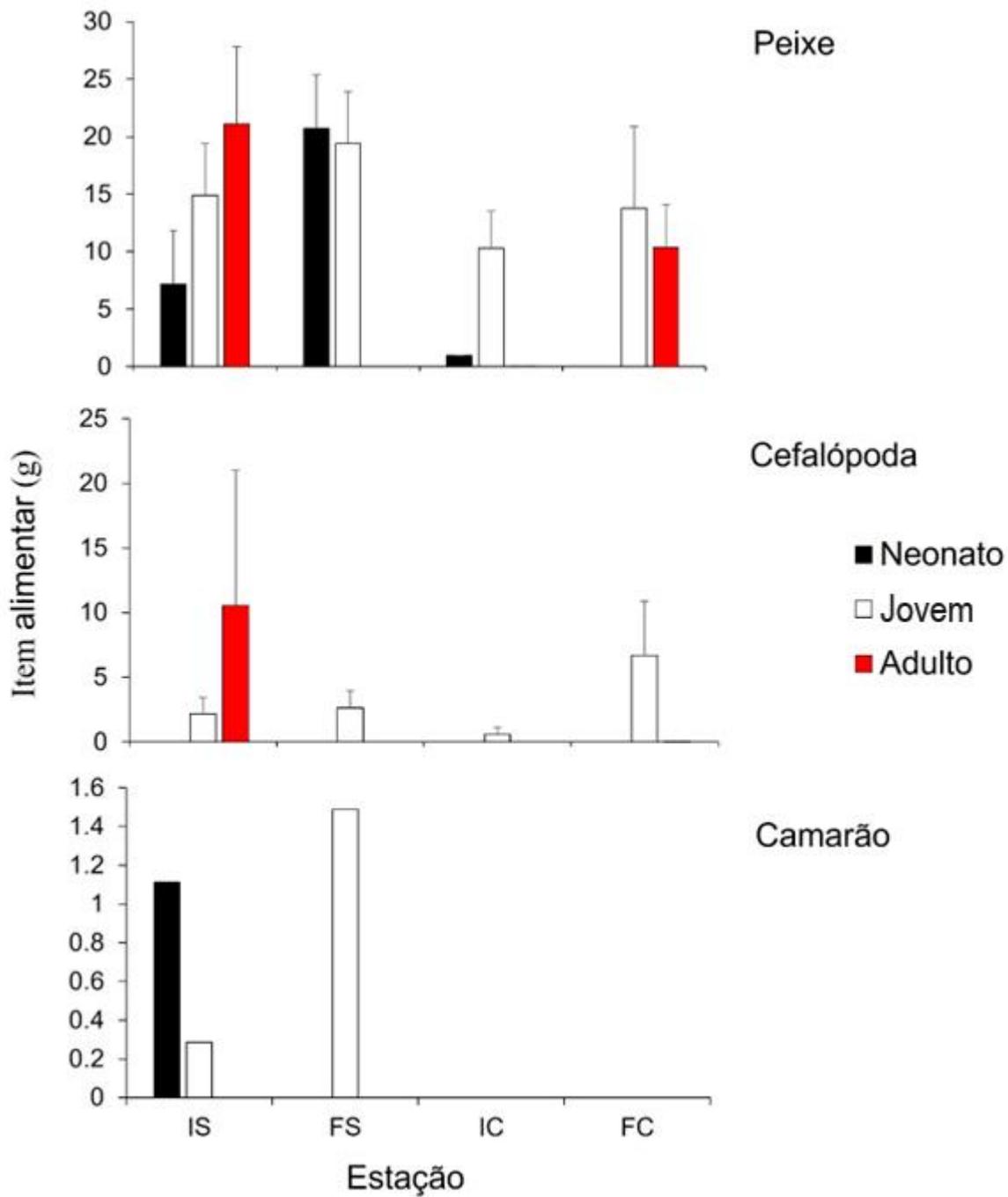
Fonte: O autor (2023).

Figura 10 - Média e erro padrão de presas ingeridas por *R. porosus* (peixes, cefalópodos e camarões) em número em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) e fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto).



Fonte: O autor (2023).

Figura 11 - Média e erro padrão das presas ingeridas por *R. porosus* (peixes, cefalópodes e camarões) em peso em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) e fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto)



Fonte: O autor (2023).

Tabela 3 - Composição da dieta de *R. porosus* expressa em porcentagem do índice de importância relativa (IRI%) de acordo com as fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) e estações (IS, início da seca; FS, Final da seca; IC, Início da chuva; FC, Final da chuva) na zona costeira.

Item alimentar	Fase ontogenética	Índice de Frequência Relativa -IRI (%)			
		IS	FS	IC	FC
Peixe não identificado	Neonato	29.57	0	100	0
	Jovem	53.88	72.9	86.2	58.29
	Adulto	3.72	0	100	16.6
<i>Pseudupeneus maculatus</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	0	0	1.14	1.3
	Adulto	9.94	0	0	16.6
<i>Mugil spp.</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	0	0	0	0
	Adulto	5.32	0	0	0
<i>Eugerres brasilianus</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	4.12	0.33	0	0
	Adulto	0	0	0	0
<i>Gymnothorax funebris</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	0	0	0	0
	Adulto	10.82	0	0	0
<i>Monacanthus ciliatus</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	0	0	1.2	0
	Adulto	41.73	0	0	0
<i>Caranx latus</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	2.64	0	0	0
	Adulto	0	0	0	0
<i>Anchovia clupeioides</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	0	0	0	0
	Adulto	4.03	0	0	0
<i>Clupeidae</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	1.47	0.33	1.66	11.65
	Adulto	0	0	0	0
<i>Trachinocephalus myops</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	0	0	3.04	0
	Adulto	0	0	0	0
<i>Chaetodon striatus</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	0	0	1	0
	Adulto	0	0	0	0
<i>Dactylopterus volitans</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	0	0	0.44	0
	Adulto	0	0	0	0

Tabela 3 - continuação

Item alimentar	Fase ontogenética	Índice de Frequência Relativa - IRI (%)			
		IS	FS	IC	FC
	Neonato	0	0	0	0
<i>Lutjanus analis</i>	Jovem	0	0	0.26	1.64
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	0	6	0	0
<i>Lutjanus Synagris</i>	Jovem	0	0	0	0.92
	Adulto	0	0	0	33.84
	Neonato	0	0	0	0
<i>Lycengraulis grossidens</i>	Jovem	0	0.33	1.84	0
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	0	6	0	0
<i>Haemulon aurolineatum</i>	Jovem	0	0.33	0.34	0
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	0	0	0	0
<i>Haemulopsis corvinaeformis</i>	Jovem	25.89	0	0.94	0.92
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	0	0	0	0
<i>Urophycis sp.</i>	Jovem	0	0	0.71	0
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	0	0	0	0
<i>Paralichthys sp.</i>	Jovem	0	0	0	1.69
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	0	0	0	0
<i>Harengula clupeiola</i>	Jovem	2.27	0	0	0
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	40.78	7.99	0	0
<i>Rhinosardinia bahiensis</i>	Jovem	0	0	0	0
	Adulto	0	0	0	22.51
	Neonato	26.15	0	0	0
<i>Stelifer sp.</i>	Jovem	0	0	0	0
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	0	0	0	0
<i>Centropomus sp.</i>	Jovem I	2.25	0	0	0
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	0	0	0	0
<i>Bothidae</i>	Jovem	0	0.35	0	0
	Adulto	0	0	0	0
	Neonato	0	0	0	0
<i>Eucinostomus melanopterus</i>	Jovem	0	20.79	0	10.3
	Adulto	0	0	0	0

Tabela 3 - continuação

Item alimentar	Fase ontogenética	Índice de Frequência Relativa - IRI (%)			
		IS	FS	IC	FC
<i>Polydactylus virginicus</i>	Neonato	0	80.01	0	0
	Jovem	0	1.35	0	0
	Adulto	0	0	0	0
<i>Penaidae</i>	Neonato	3.5	0	0	0
	Jovem	1.25	0.33	0	0
	Adulto	0	0	0	0
<i>Loligo sp.</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	6.23	2.96	1.22	10.34
	Adulto	24.44	0	0	10.45
<i>Octopus sp.</i>	Neonato	0	0	0	0
	Jovem	0	0	0	2.94
	Adulto	0	0	0	0

Fonte: O autor (2023).

Tabela 4 - Microplásticos detectados em presas contaminadas das diferentes fases ontogenéticas de *R. porosus* (neonato, jovem e adulto) em função das estações (IS, início da seca; FS, Final da seca; IC, Início da chuva; FC, Final da chuva) na zona costeira.

Estação	Fase ontogenética	Presa contaminada por MP	Peso da presa (g)	Fibra azul	Fibra vermelha	Filme branco
FS	Jovem	<i>Clupeidae</i>	6.517	1 (3.8mm)		
IC	Jovem	<i>T. myops</i>	36.485			1 (2.3mm)
IC	Jovem	Peixe não identificado	0.631	1 (4.7mm)		
IC	Neonato	<i>Engraulidae</i>	0.959	1 (4.6mm)		
IC	Jovem	<i>M. ciliatus</i>	12.355		1 (4.2mm)	
FC	Adulto	<i>L. analis</i>	17.447	1 (3.9mm)		
FC	Adulto	<i>H. clupeola</i>	9.001	1 (2.1mm)		
FC	Jovem	<i>E. melanopterus</i>	69.722	1 (3.1mm)		

Fonte: O autor (2023)

4.4 CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS

Todos os 135 espécimes capturados neste estudo estavam contaminados por MP (Tabela 5). Diferenças significativas foram detectadas no número total de MP ingerido pelas fases ontogenéticas de *R. porosus* por estação (Figura 12 e Tabela 6). Os neonatos apresentaram as maiores médias de contaminação por MP na estação início da chuva ($20,5 \pm 4,5$ part.ind⁻¹), jovens na estação final chuva ($15,2 \pm 3,2$ part.ind⁻¹) e adultos na estação início da seca ($30,7 \pm 5,1$ part.ind⁻¹).

As Fibras e os filmes foram os principais tipos de MP, que contaminaram *R. porosus* independente da estação e das fases ontogenéticas (Figura 13, 14 e Tabela 5). Os neonatos e adultos são mais contaminados por fibras (fibras azuis: 123 e 74 durante as estações de seca e chuva, respectivamente (Figuras 13, 14 e Tabela 5). Os jovens foram mais contaminados por MP durante a estação final da chuva (320 MPs) e final da seca (355 MPs). Todas as fases ontogenéticas de *R. porosus* foram contaminadas por filmes azuis principalmente durante as estações chuvosas. Além disso, o filme preto contaminou os jovens e adultos principalmente na estação final da chuva (49 e 21 MPs, respectivamente) e início da seca (48 e 95 MPs, respectivamente).

O modelo de regressão NB para a contaminação total de MP mostrou diferenças significativas entre estações ($p < 0,01$), fases ontogenéticas (adulto: $p < 0,05$; jovens: $p < 0,01$), chuva ($p < 0,01$), distância das capturas da costa ($p < 0,01$) e presa ($p < 0,01$). Além disso, as interações estações vs. fase foram significativas (início da seca vs. adulto: $p < 0,05$; início da chuva vs. adulto: $p < 0,05$; início da seca vs. jovem: $p < 0,01$ e início da chuva vs. jovem: $p < 0,10$) (Tabela 6). A principal contribuição para a contaminação por MP ocorreu na estação início da seca ($2,5$ MP.ind⁻¹). Os jovens foram a fase ontogenética que apresentou a maior contribuição para a contaminação por MP detectada ($1,83$ MP. ind⁻¹). O modelo também detectou que a distância das capturas da costa influenciou negativamente a contaminação por MP nesta espécie. Além disso, a chuva (a cada 200 mm aumenta em 2 MP. ind⁻¹) e as presas de peixes (a cada 100g aumenta em 2 MP. ind⁻¹) influenciaram positivamente a contaminação por MP.

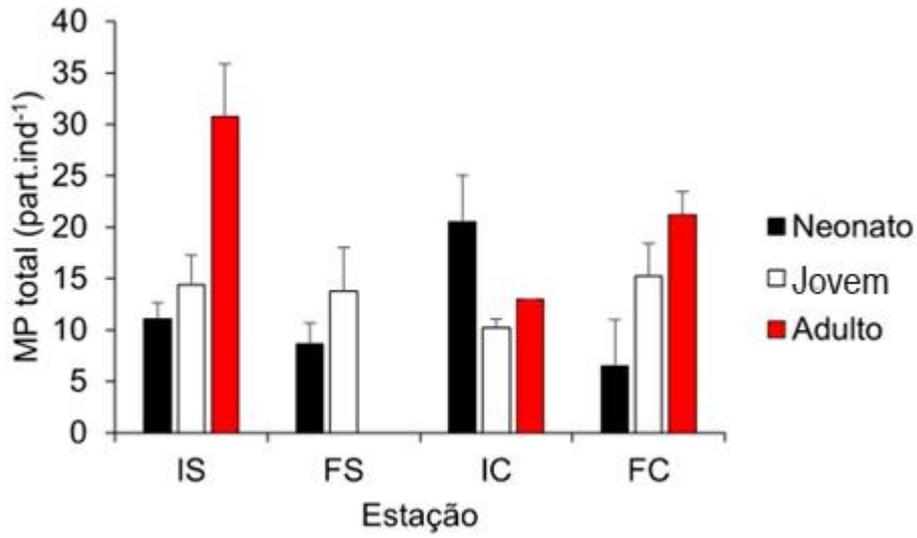
Os gráficos dos resíduos de desvio versus valores ajustados (Figura 15) e versus gráfico de índice (Figura 15b) mostram comportamento aleatório e dispersão constante. A Figura 15c evidencia que os resíduos têm uma boa aproximação da distribuição normal. O gráfico de probabilidade normal mostra que não existem fortes evidências de violações do modelo de suposições (Figura 15d) Portanto o modelo binomial negativo ajustado é considerado adequado para prever a contaminação por MP de *R. porosus*. Além disso, 91,7% dos os resíduos pertencem [-2 ; 2].

4.5 ESTRUTURA BÁSICA DO POLÍMERO

A microscopia Óptica (MO), infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Raios X por Dispersão de Energia (EDS) confirmaram a presença de microplásticos no trato gastroentérico de indivíduos de *R. porosus*. Esta análise também mostrou que os microplásticos encontrados estavam altamente degradados e associados a microrganismos (Figura 16, Tabelas 8, 9 e 10). Além disso, os metais detectados nas amostras pela técnica EDS certamente são provenientes do ambiente onde o microplástico foi ingerido.

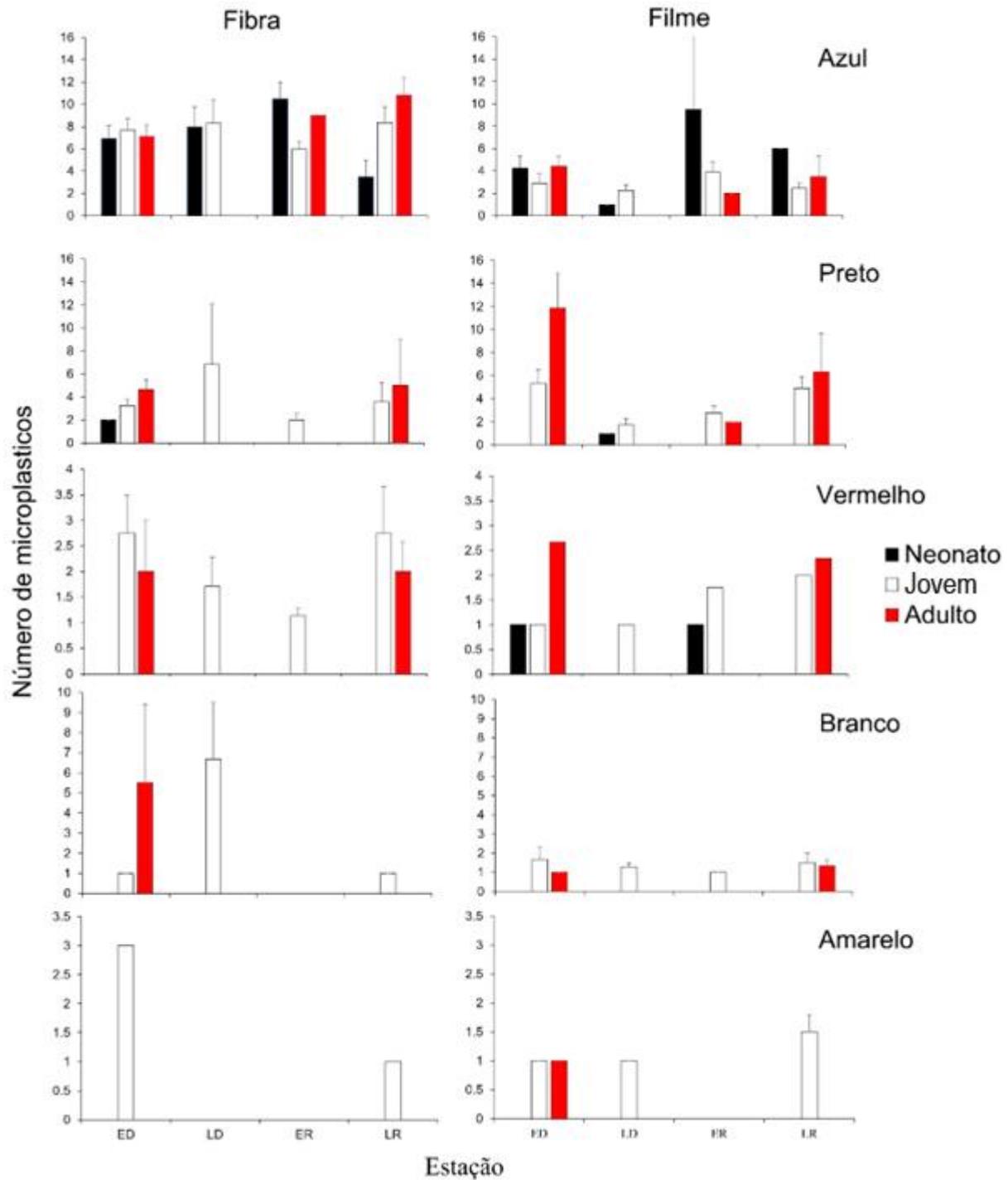
O MEV foi essencial para mostrar a estrutura do polímero base que gerou o microplástico (Figura 17 A, B, C, D, E). As intensidades dos picos do FTIR mostraram que o polímero base, que é o polietileno, está bem degradado. (Figura 18, Tabela 10). A comparação da amostra FTIR com um polietileno oxidado padrão (Figura 18, Tabela 9, 10), mostrou a presença de números de onda 1100 cm^{-1} e o intervalo entre 3010 e 2853 cm^{-1} o que confirma a origem do polímero base que gerou o microplástico (polietileno). O FTIR também mostrou a presença de números de onda associados à degradação do polímero (1743 cm^{-1} , 1642 cm^{-1} , $1538-1455\text{ cm}^{-1}$ e $1379-1160\text{ cm}^{-1}$) e hidratação (3389 cm^{-1}).

Figura 12 - Média e erro padrão do número total de microplásticos ingeridos por *R. porosus* em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) e fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) na região costeira.



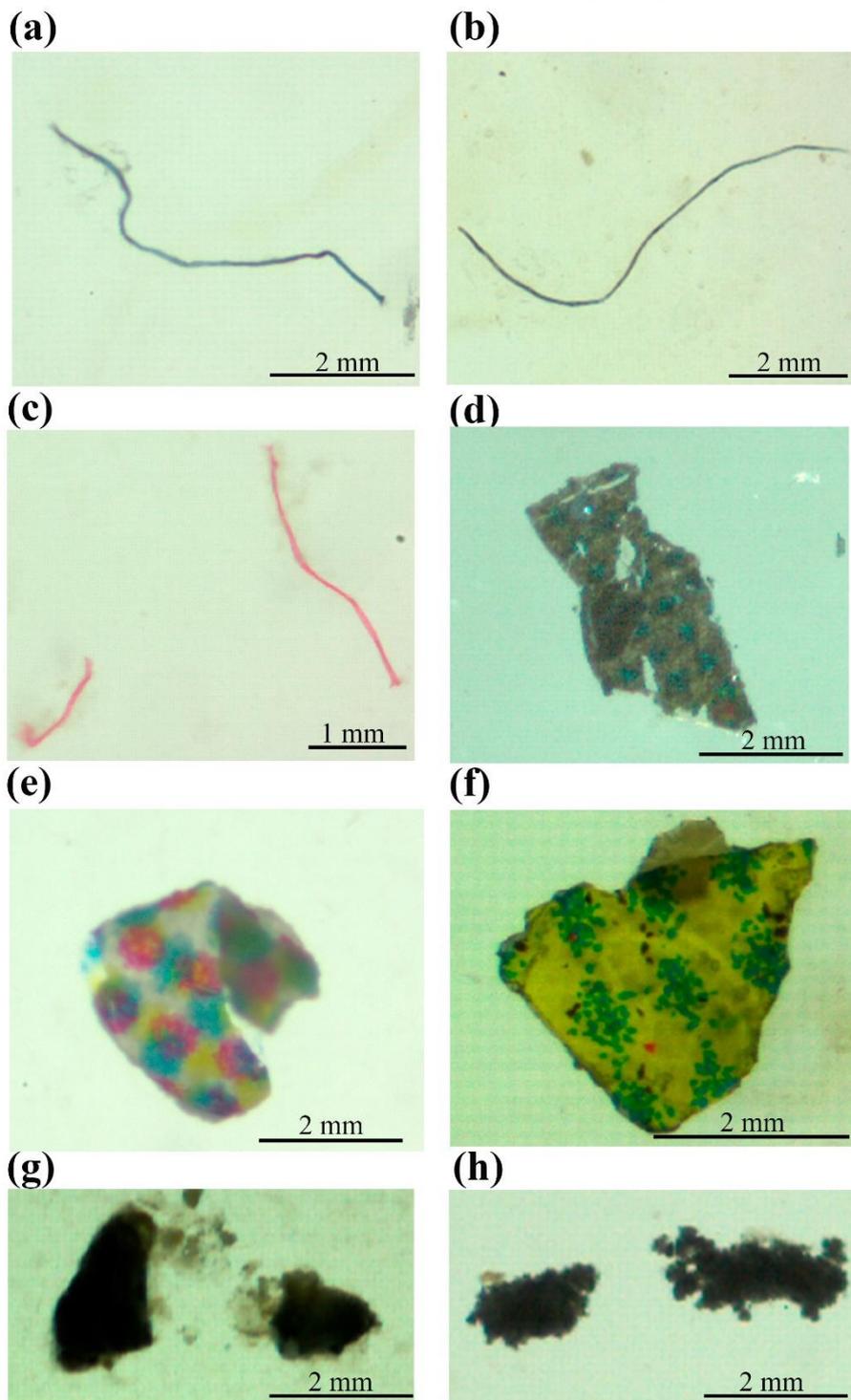
Fonte: O autor (2023)

Figura 13 - Médias e erro padrão das formas e cores mais relevantes de MP ingeridas por *R. porosus* em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) e fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) na região costeira.



Fonte: O autor (2023).

Figura 14 - contaminação por MP em *R. porosus*. (a) Fibra Azul; (b) Fibra Preta; (c) Fibra Vermelha; (d) Filme Preto; (e) Filme Branco (f) Filme amarelo (g) Fragmento Preto (h) Espuma Preta.



Fonte: O autor (2023).

Tabela 5 - Microplásticos detectados nas diferentes fases ontogenéticas de *R. porosus* (neonato, jovem e adulto) em função das estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC) na região costeira.

		Microplástico																												
		Fibras					Filmes					Fragmentos				Espumas														
Estação	Fase ontogenética	Azul		Preto		Vermelho		Amarelo		Branco		Azul		Preto		Vermelho		Amarelo		Branco		Preto		Total						
		N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)							
IS	Neonato	83	4.4	2	0.1							34	1.8			1	0.1							3	0.2	123				
	Jovem	146	7.8	23	1.2	11	0.6	3	0.2	1	0.1	29	1.6	48	2.6	1	0.1	1	0.1	5	0.3			3	0.2	271				
	Adulto	57	3.1	28	1.5	4	0.2			11	0.6	31	1.7	95	5.1	8	0.4	2	0.1	1	0.1		2	0.1	5	0.3	245			
FS	Neonato	40	2.1								1	0.1	1	0.1												42				
	Jovem	216	11.6	41	2.2	12	0.6			20	1.1	34	1.8	12	0.6	3	0.2	1	0.1	9	0.5	4	0.2		3	0.2	355			
	Adulto																									0				
IC	Neonato	21	1.1								19	1.0			1	0.1										41				
	Jovem	191	10.2	6	0.3	8	0.4				66	3.5	39	2.1	7	0.4				1	0.1			1	0.1	319				
	Adulto	9	0.5								2	0.1	2	0.1												13				
FC	Neonato	7	0.4								6	0.3														13				
	Jovem	184	9.9	18	1.0	11	0.6	1	0.1	1	0.1	32	1.7	49	2.6	6	0.3	6	0.3	3	0.2		1	0.1		8	0.4	320		
	Adulto	65	3.5	10	0.5	6	0.3					12	0.6	21	1.1	7	0.4			4	0.2					125				
Total		1019	54.6	128	6.9	52	2.8	4	0.21	33	1.8	266	14.2	267	14.3	34	1.8	10	0.5	23	1.2	4	0.2	3	0.2	9	0.5	15	0.8	1867

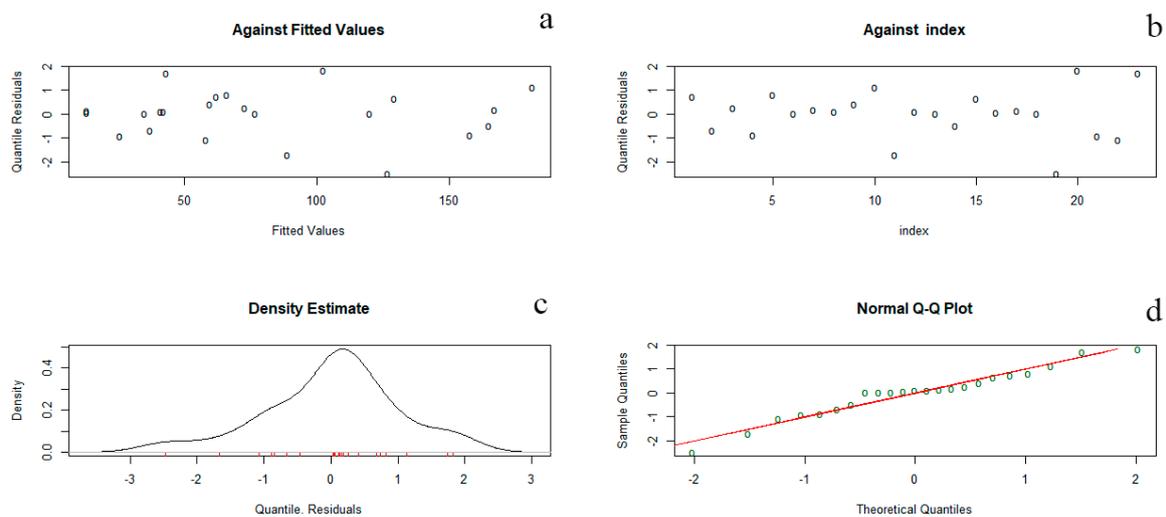
Fonte: O autor (2023).

Tabela 6 - Sumário da distribuição Binomial Negativa para os dados de contaminação por MP em *R. porosus* com os fatores estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC), fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto), presa_{peixes}, chuva e distância das capturas e interações entre os fatores estação e fases ontogenéticas na região costeira (Códigos de significância: 'ns' não significativo '***' p<0.001 '**' p<0.01 '*' p<0.05 '.' p<0.1)

MP					
Fatores	Estimativa	Erro padrão	t value	P (> t)	Significância
Intercepto	3.348	0.251	13.347	9.49e ⁻⁰⁷	***
IS	0.923	0.225	4.1	0.003	**
IC	-1.323	0.379	-3.499	0.008	**
FS	0.068	0.225	0.302	0.77	ns
Adulto	-0.513	0.173	-2.964	0.018	*
Jovem	0.606	0.123	4.938	0.001	**
Chuva	0.004	0.001	3.762	0.005	**
Distância	-0.021	0.006	-3.443	0.009	**
Presas _{peixe}	0.007	0.002	3.482	0.008	**
IS : Adulto	0.517	0.203	2.544	0.034	*
IC : Adulto	-0.867	0.271	-3.192	0.013	*
FS : Adulto	-0.072	0.353	-0.203	0.844	ns
IS : Jovem	-0.549	0.159	-3.452	0.009	**
IC : Jovem	0.401	0.175	2.284	0.052	.

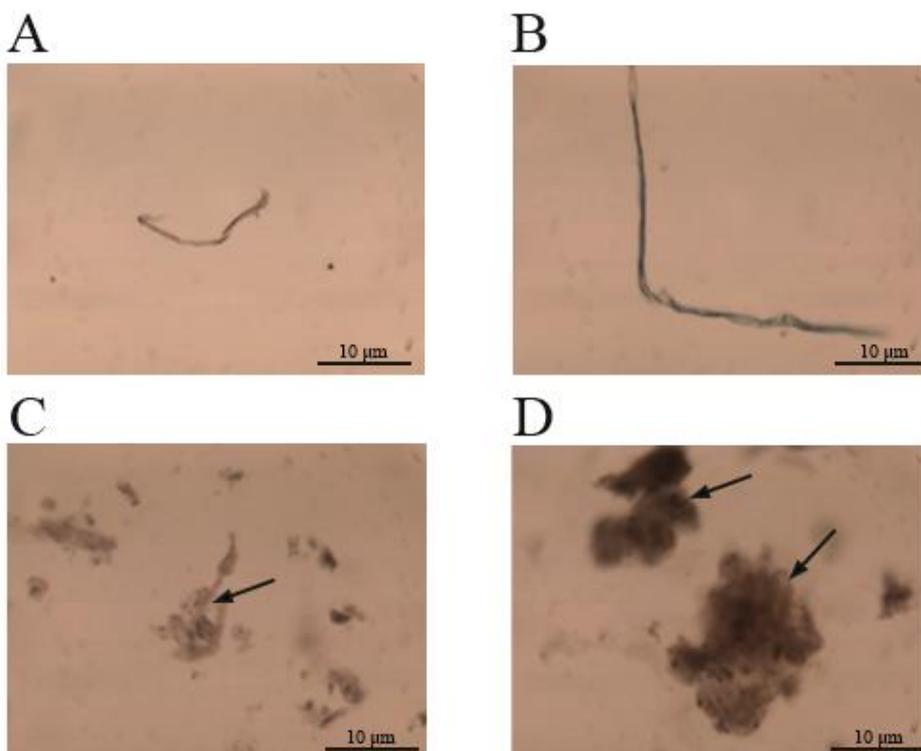
Fonte: O autor (2023).

Figura 15 – Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão binomial negativo para a contaminação por MP de *R. porosus*.



Fonte: O autor (2023).

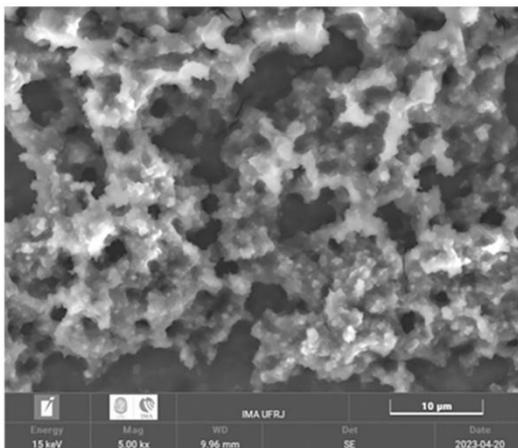
Figura 16 - Imagens de Microscopia Óptica de fibras (A, B e C) e Filmes (D) de microplástico associados a microrganismos (setas).



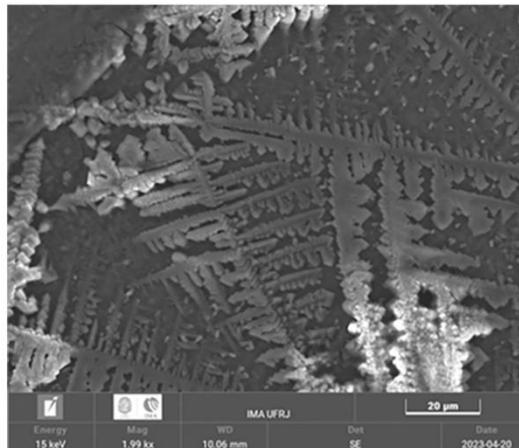
Fonte: O autor (2023).

Figura 17 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de fibras (A, B, C) e filmes (D, E) de microplástico mostrando a estrutura do polímero de polietileno ingerido por *R. porosus*.

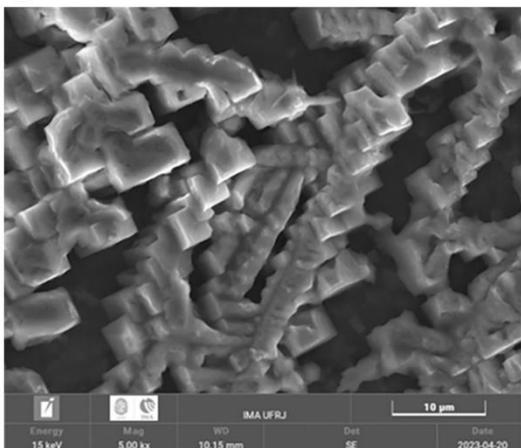
A



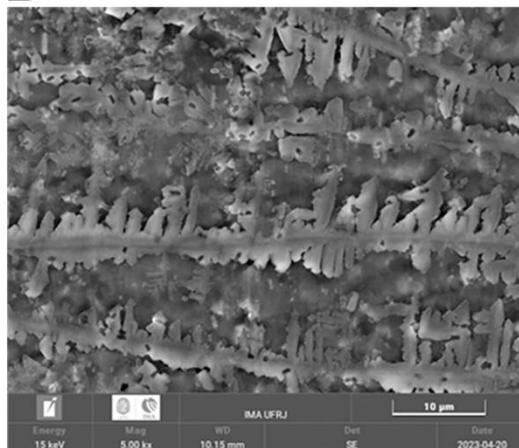
B



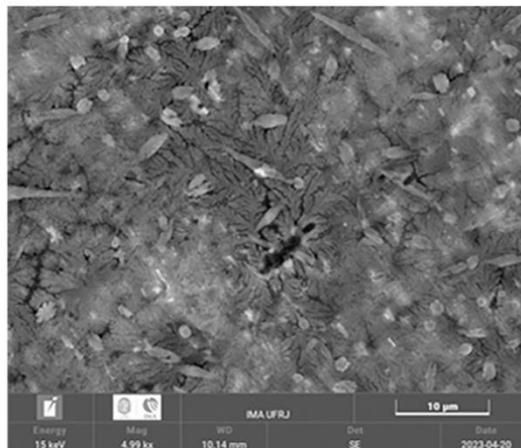
C



D

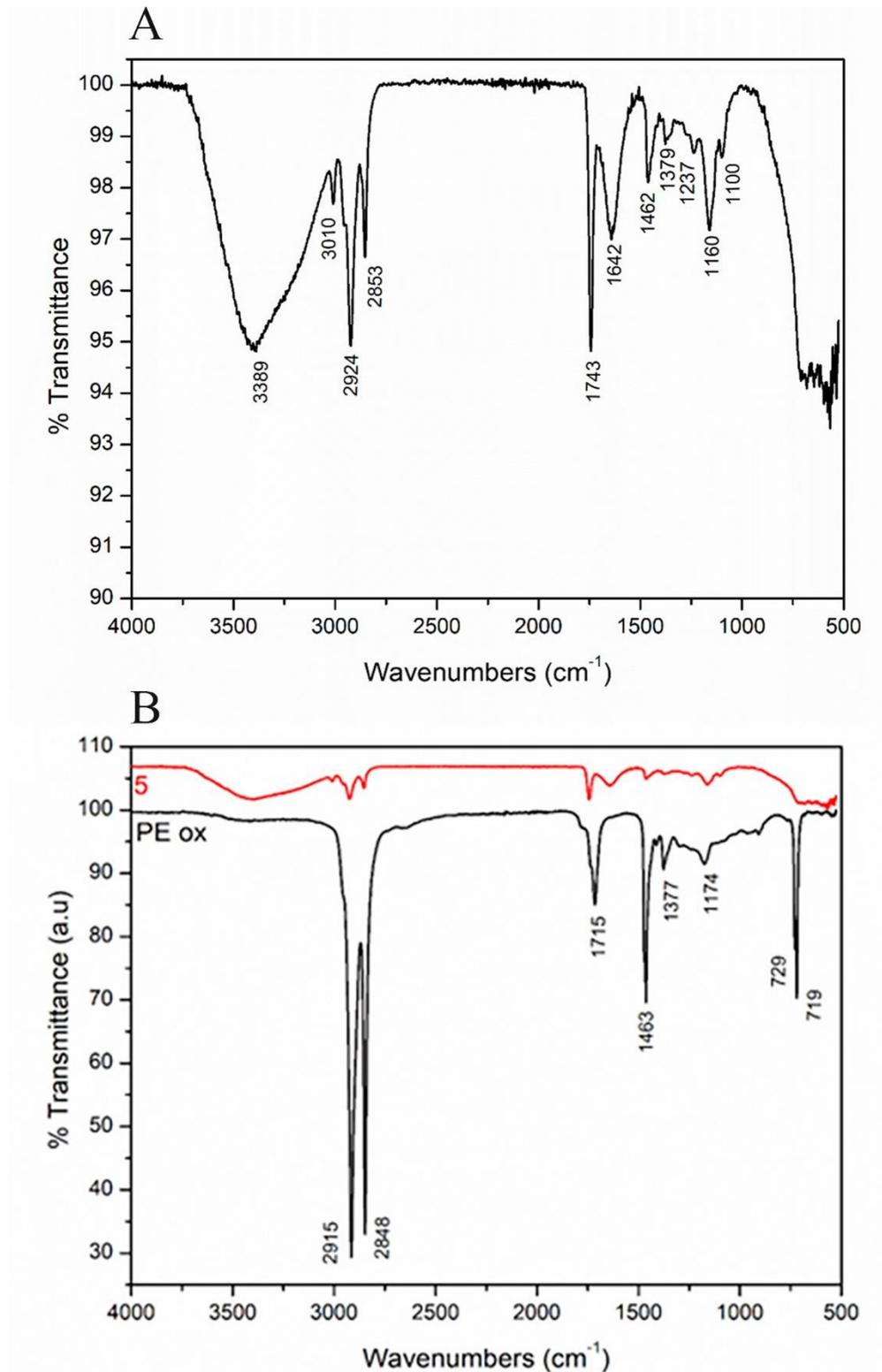


E



Fonte: O autor (2023).

Figura 18 - O espectro FTIR da amostra de microplástico (A) e a comparação entre a amostra polietileno (vermelho) e um FTIR padrão de polietileno oxidado (preto) (B) mostrou que o polímero base está degradado.



Fonte: O autor (2023).

Tabela 7 - Médias e erro padrão (EP) da composição elementar das amostras de fibras de MP pela técnica EDS

Elemento	Atômico (%)	EP	Peso (%)	EP
Silício	6.03	3.25	9.22	4.90
Carbono	45.90	4.27	30.95	1.96
Oxigênio	19.99	6	17.24	5.41
Cloro	12.28	2.93	23.02	4.98
Sódio	11.85	2.01	14.46	2.09
Magnésio	1.44	0.44	1.86	0.53
Potássio	0.70	0.34	1.49	0.76
Ferro	0	0	0.01	0
Calcio	0.48	0.27	1.05	0.62
Enxofre	1.13	0.58	1.93	0.98
Fósforo	0.08	0	0.01	0

Fonte: O autor (2023).

Tabela 8 - Médias e erro padrão (EP) da composição elementar das amostras de filmes de MP pela técnica EDS

Elemento	Atômico (%)	EP	Peso (%)	EP
Silício	26.26	7.21	39.35	9.81
Carbono	43.02	1.73	27.74	0.36
Oxigênio	15.31	6.08	13.31	5.59
Cloro	3.26	0.64	6.235	1.38
Sódio	4.71	0.79	5.59	0.88
Nitrogênio	5.50	1.07	4.16	0.92
Magnésio	1.22	0.33	1.58	0.38
Prata	0.02	0.02	0.12	0.10
Potássio	0.74	0.73	1.6	1.58
Ferro	0.01	0	0.02	0
Enxofre	0.35	0	0.63	0

Fonte: O autor (2023).

Tabela 9 - Atribuições do espectro infravermelho da amostra de microplástico

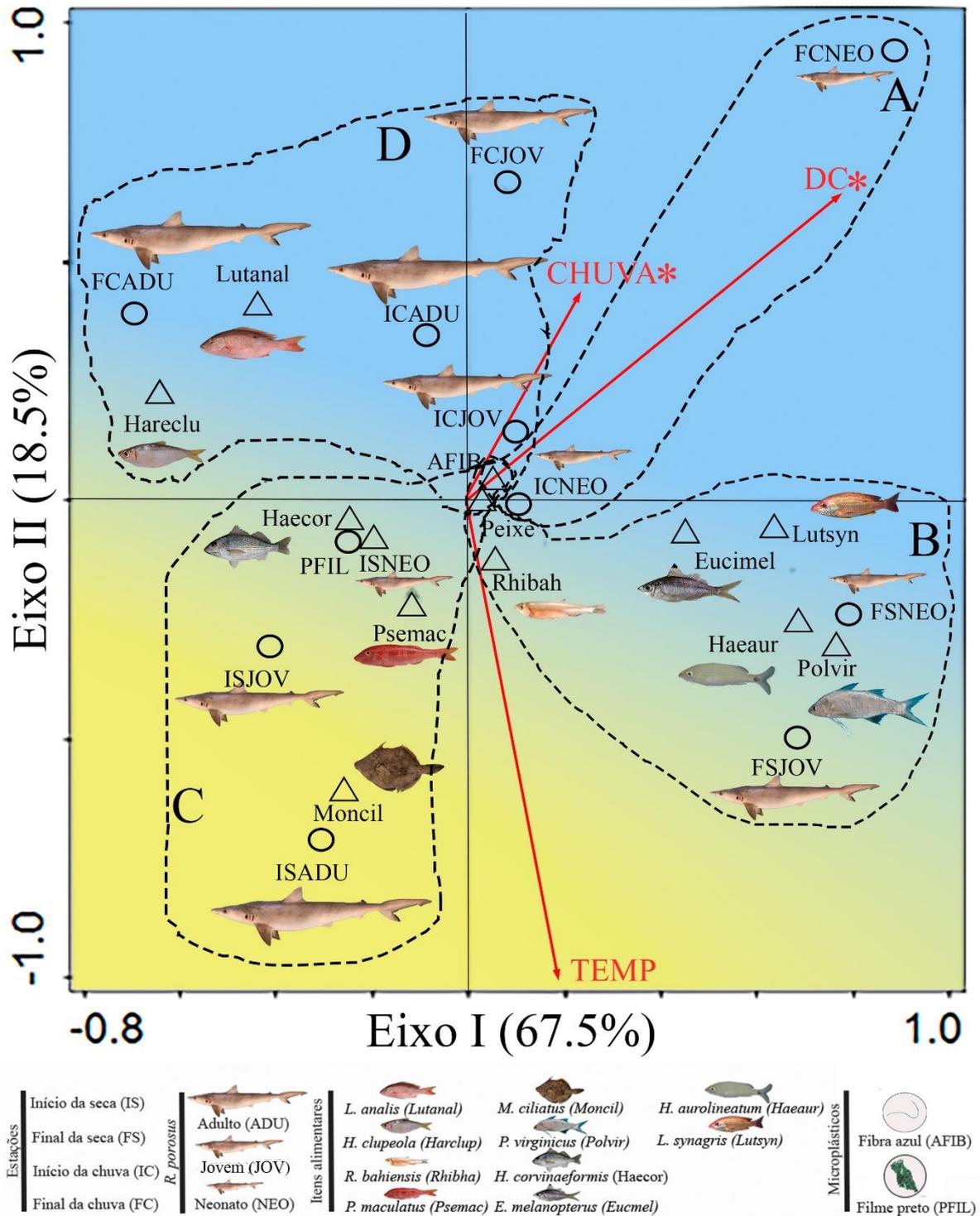
Número de ondas (cm ⁻¹)	Grupo funcional	material Base
3389	grupo OH – deformação axial	hidratação
3010-2853	cadeia alifática C-H def. axial	polietileno
1743	carbonila de cetona C=O def. axial	proc. degradativo
1642	carbonila de ester C=O def. axial	proc. Degradativo
1538-1455	C-O de grupos oxigenados	proc. degradativo
1379-1160	C-O de ester	proc. Degradativo
1100	deformação angular de C-H	polietileno

Fonte: O autor (2023).

5 INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NOS PADRÕES DE CONTAMINAÇÃO POR MP E INGESTÃO DE PRESAS

A ACC mostrou uma distribuição das fibras azuis e peixes próximos à origem dos eixos I e II em decorrência da ingestão de peixes e contaminação por MP Independentemente da estação, pluviosidade, distância ou fase ontogenética (Figura 19). O eixo I representa o ponto de vista ecológico e explicou 67,5% das correlações entre contaminação por MP, alimentos e variáveis ambientais. Ao mesmo tempo, o eixo II, que representa a sazonalidade, explicou 18,5% das correlações entre as variáveis analisadas (Tabela 7). A ingestão de Peixe, *R. bahiensis*, *H. aurolineatum*, *P. virginicus*, *E. melanopterus* e *L. synagris* na estação final da seca, por neonatos e jovens foi positivamente relacionada com a temperatura e negativamente relacionada com a distância e chuva. Isso significa que o hábito alimentar dessas fases ontogenéticas pode mudar para peixes recifais em distâncias próximas da costa no final da estação seca. A ACC também mostrou que a contaminação de *R. porosus* por filmes pretos foi negativamente correlacionada com a chuva e a distância e positivamente com a temperatura. Essas também são características ambientais das estações secas. Portanto, isso explica por que as maiores taxas de filmes pretos foram detectadas no início da estação seca para adultos e jovens. Além disso, no início da estação seca, os adultos de *R. porosus* também predavam *M. ciliatus* e *P. maculatus*. Essas presas também foram negativamente correlacionadas com chuva e distância e positivamente relacionadas com a temperatura. Portanto, as maiores taxas de contaminação por filme preto em adultos e a disponibilidade dessas presas no início da estação seca podem sugerir que essa contaminação por MP esteja relacionada à transferência trófica.

Figura 19 - Análise de Correspondência Canônica (ACC) para correlações entre contaminação por MP, itens alimentares e variáveis ambientais. As setas representam os parâmetros ambientais (chuva (CHUVA), temperatura (TEMP) e distância das capturas (DC). Os triângulos (Δ) representam a contaminação por MP fibras azuis (AFIB) e filmes pretos (PFIL) e os itens alimentares (*L. analis* (Lutanal), *H. clupeiola* (Harclup), *H. corvinaeformis* (Haecor), *M. ciliatus* (Moncil), *R. bahiensis* (Rhibah), *E. melanopterus* (Eucmel), *H. aurolineatum* (Haeaur), *L. synagris* (Lutsyn), *P. maculatus* (Psemac) e *P. virginicus* (Polvir). Os círculos (\circ) representam as interações entre os fatores estação (IS; início da seca, FS; final da seca, IC; início da chuva e FC; final da chuva) e fases ontogenéticas de *R. porosus* (neonato, jovem e adulto) na zona costeira.



Fonte: O autor (2023).

Tabela 10 - Resumo da Análise de Correspondência Canônica (ACC) utilizando as variáveis ambientais (chuva, temperatura e distância das capturas), as presas mais importantes e a contaminação por MP (fibras azuis e filmes pretos) ingeridas por *R. porosus* nas estações IS; início da seca, FS; final da seca, IC; início da chuva e FC; final da chuva na zona costeira. ('ns' $p > 0.05$ '**' $p < 0.05$)

<i>R. porosus</i>	Eixo 1	Eixo 2		
Autovalores	0.12	0.03		
Variância explicada	22.94	29.19		
Correlação pseudo-canônica	0.82	0.66		
Variância explicada ajustada	67.5	18.5		

Variáveis ambientais	Contribuição (%)	Pseudo-F (%)	<i>p</i>	Significância
Distância das capturas (Km)	62	2.5	0.02	*
Chuva (mm)	26.9	1.8	0.04	*
Temperatura do ar (°C)	11	0.5	0.79	ns

Fonte: O autor (2023).

6 DISCUSSÃO

As áreas costeiras são caracterizadas pela presença de estuários, dos quais durante a estação chuvosa a pluma estuarina se estende por toda a zona nerítica (Barletta & Dantas, 2016 a, b; Dantas *et al.*, 2010). Neste momento a fauna segue a flutuação da salinidade em direção à costa. Com o escoamento, os contaminantes (mercúrio, MP e outros) são exportados para a região costeira (Barletta *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2015). Por outro lado, durante a estação seca a zona nerítica influencia a porção interna dos estuários. Essa dinâmica promove mudanças no gradiente de salinidade que afetam o movimento, a ecologia alimentar e a contaminação por MP de peixes em áreas estuarinas e costeiras (Barletta *et al.*, 2020).

Um padrão de movimento semelhante foi detectado para *R. porosus* nas áreas costeiras, onde a densidade de fêmeas adultas grávidas aumenta durante a estação final da chuva e início da seca, quando a pluma estuarina está influenciando as regiões costeiras. Durante a estação chuvosa a salinidade no estuário diminui e a fauna estuarina (presas) desloca-se para a costa onde a salinidade é mais estável. No entanto, a maior concentração de neonatos e jovens foi detectada durante a estação final da seca. Isso sugere que a estação início da seca é quando as fêmeas de *R. porosus* se agregam perto da costa e concebem os neonatos nessa região (Figura 20 A, B, C e D). Portanto, a porção interna da plataforma continental pode ser considerada um berçário para essas espécies durante a estação final da seca (Beck *et al.*, 2003).

De acordo com este estudo, *R. porosus* é piscívoro, porém a dieta muda em função das estações do ano e de sua ontogenia. Os neonatos se alimentam de *Rhinosardinia bahiensis* e camarão na estação início da seca. No entanto, durante a estação final da seca, esta fase ontogenética alimenta-se de peixes recifais (*Lutjanus synagris*, *Haemulon aurolineatum* e *Polydactylus virginicus*). Os jovens se alimentam de *Clupeidae* nas estações de seca e chuva. Os adultos se alimentam de *Pseudupeneus maculatus*, *Monacanthus ciliatus* e *Anchovia clupeoides* na estação início da seca. Durante a estação chuvosa, alimentam-se de *Harengula clupeola*, *Lutjanus analis* e lulas (*Loligo sp.*). Além disso, a chuva (positivamente) e a distância das capturas à costa (negativamente) influenciam a ecologia alimentar e a contaminação de MP nas áreas costeiras.

Quanto à contaminação por MP, todos os espécimes foram contaminados principalmente por fibras azuis e filmes pretos. No entanto, a contaminação geral de MP foi maior durante a estação chuvosa, exceto para os adultos, que apresentaram um pico de contaminação na estação início da seca. Esta informação reforça que a contaminação pode estar relacionada a mudanças na dieta entre as fases ontogenéticas. Como as três fases ontogenéticas ocorreram nesta estação na mesma região, este estudo detectou diferenças na dieta em número e peso entre as fases ontogenéticas para esta estação. Ao comparar a quantidade de presas entre as fases ontogenéticas, observou-se que os neonatos ingeriram mais presas em número. Ao mesmo tempo, os adultos tiveram a maior ingestão de peso. Portanto, essa informação poderia explicar por que os adultos foram mais contaminados do que as outras fases ontogenéticas na estação início da seca. Como os adultos no início da estação seca eram principalmente fêmeas grávidas, essa discrepância relacionada à concentração de MP nessa fase ontogenética pode ser explicada pelas mudanças no tamanho das presas que podem ocorrer na dieta dos elasmobrânquios de acordo com seu desenvolvimento e necessidades energéticas (Belleggia *et al.*, 2019).

A relação entre o microplástico ingerido pelas fases ontogenéticas de *R. porosus* e presas, indica que quando neonatos, jovens e adultos se alimentam de diferentes espécies de peixes durante as estações do ano, eles também estavam sendo contaminados principalmente por fibras azuis. Portanto, independentemente da dieta ou da fase ontogenética, a contaminação ocorre principalmente por fibras azuis, corroborando os achados de Possatto *et al.* (2011) e Ferreira *et al.* (2019a; 2019b) em estuários e zona costeira.

Estudos anteriores mostraram contaminação por MP em peixes que são presas de *R. porosus* na mesma área deste estudo, como consumidores secundários *Eugerres brasilianus* e *Eucinostomus melanopterus* (Ramos *et al.*, 2012; 2016), *Stellifer sp.* (Dantas *et al.*, 2015), *Haemulopsis corvinaeformis* (Silva *et al.*, 2018) e predadores como *Centropomus spp.* (Ferreira *et al.*, 2019a; 2019b). Este estudo também encontrou contaminação por MP (principalmente fibras azuis) no trato gastroentérico de ~6% das presas de *R. porosus* (Figuras 21 A, B e C). Isso poderia ser explicado pelo hábito alimentar de algumas presas, como *Harengula clupeiola*, que poderia consumir MP azul pela semelhança de presas (copépodes) como visto em outros estudos com peixes (Thompson, 2004; Ory *et al.*, 2017).

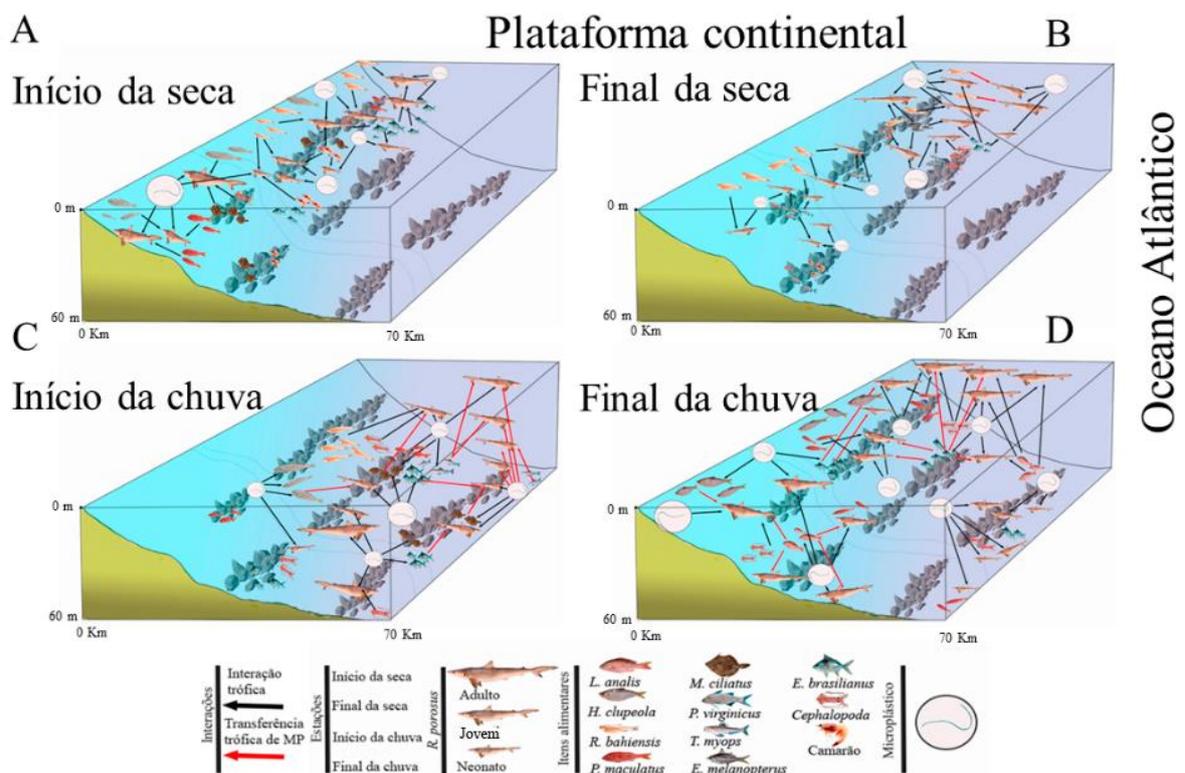
A análise de correspondência canônica (ACC) reforça que as variáveis ambientais que compõem as estações do ano foram altamente associadas ao hábito alimentar e à contaminação por MP de *R. porosus* nas áreas costeiras. Nessa análise, o eixo I explicou 67,5% das correlações entre contaminação por MP, presas e variáveis ambientais. Na ACC as fibras azuis e peixes estavam localizados próximos à origem dos eixos I e II. Essa informação mostra que a contaminação por MP em *R. porosus* ocorre independente da estação, precipitação, distância ou fase ontogenética. Além disso, a relação entre as fibras azuis e a dieta principalmente piscívora de *R. porosus* sugere que a contaminação por MP nessa espécie ocorra por transferência trófica. Adicionalmente, a contaminação das presas de *R. porosus* neste estudo reforça a probabilidade de contaminação de *R. porosus* por transferência trófica na região costeira.

As estações do ano e a presença de estuários na área de estudo influenciam a disponibilidade de presas, a abundância de MP e as interações do MP com as diferentes fases ontogenéticas dos peixes no ambiente (Barletta *et al.*, 2019). Portanto, recomenda-se que estudos preditivos para contaminação por MP no ambiente aquático ou em peixes considerem as interações tróficas da cadeia alimentar e parâmetros espaço-temporais como variáveis essenciais para demonstrar a transferência trófica de MP entre espécies (Barletta *et al.*, 2020). Estudos anteriores que consideraram as estações do ano e a ecologia alimentar, mostraram que a contaminação por MP é maior à medida que o nível trófico aumenta (Possato *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2016; 2018; 2019b). Este estudo com *R. porosus* reforça os dados anteriores, pois a contaminação por MP encontrada nessa espécie apresentou valores superiores aos demais predadores de topo estudados com a mesma metodologia (Barletta *et al.*, 2020). Além disso, a frequência de ocorrência de MP nos indivíduos deste estudo foi superior às porcentagens encontradas em outros estudos com elasmobrânquios no Mar Mediterrâneo Ocidental (Alomar & Deudero, 2017), Mar do Norte (Smith, 2018) Mar Tirreno (Valente, 2019) e Nordeste do Atlântico (Parton, 2020). No entanto, esses estudos usaram diferentes metodologias para detectar a contaminação por MP. Por esse motivo, seria interessante a realização de mais estudos utilizando a mesma metodologia de desenho amostral para analisar o status de contaminação MP para elasmobrânquios em outras regiões.

As estações do ano também afetam a concentração de metais pesados (mercúrio) nos predadores de topo que utilizam a zona costeira para completar seus ciclos de vida (Costa & Barletta., 2009; Barletta *et al.*, 2012). Além disso, a associação de MP e mercúrio foi relacionada à prevalência desse metal nos ambientes marinhos (Barboza *et al.*, 2018). Portanto, estudos com contaminação por mercúrio poderiam ser conduzidos com *R. porosus* para avaliar o nível de contaminação por mercúrio para o nível trófico ao qual essa espécie pertence.

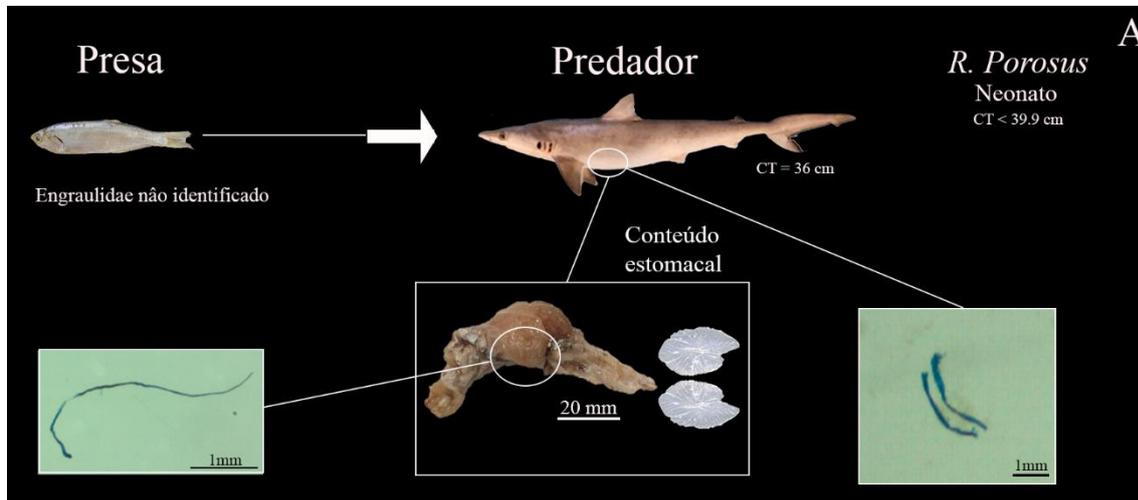
As fontes de MP para a região costeira estão principalmente relacionadas às atividades pesqueiras em áreas estuarinas e costeiras (Costa & Barletta., 2015; Barletta *et al.*, 2019). Além disso, a determinação da composição das amostras de MP como polietileno reforça a origem dessa poluição através da atividade pesqueira. adicionalmente, a hidratação, presença de microrganismos e processo degradativo encontrados nas amostras de MP sugerem a contaminação cíclica por MP no ambiente marinho. Apesar disso, mais estudos entre as relações de contaminação por MP e flutuação ambiental precisam ser conduzidos nesta região.

Figura 20 – Modelo conceitual da distribuição, ecologia alimentar e contaminação por MP das fases ontogenéticas (neonato, jovem e adulto) de *R. porosus* em função das estações início da seca (A), Final da seca (B), início da chuva (C) e final da chuva (D).

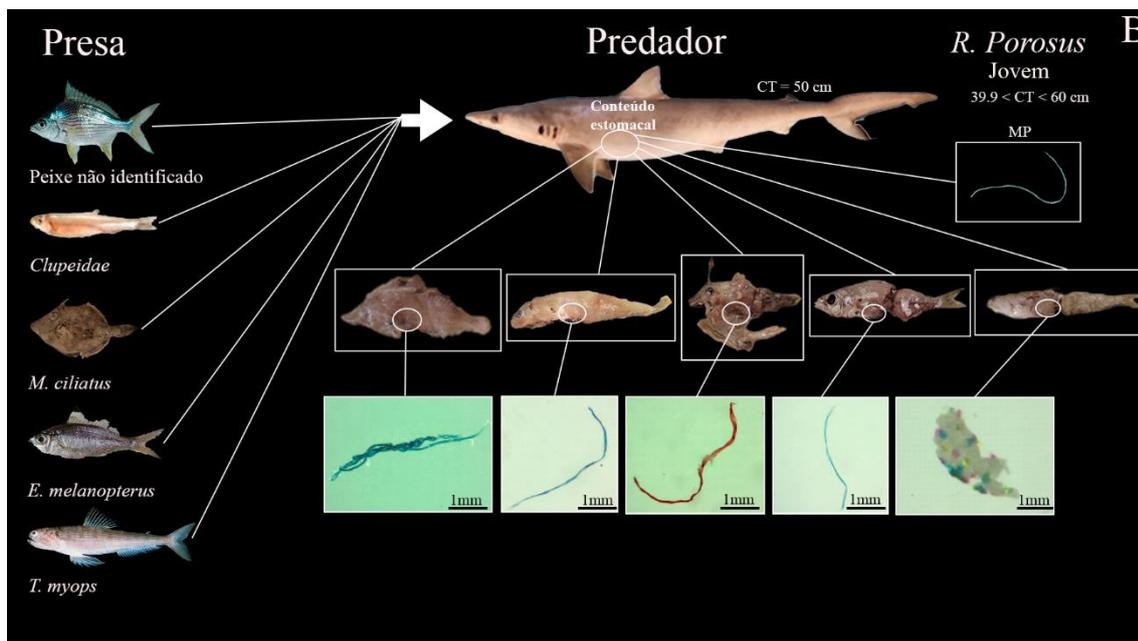


Fonte: O autor (2023).

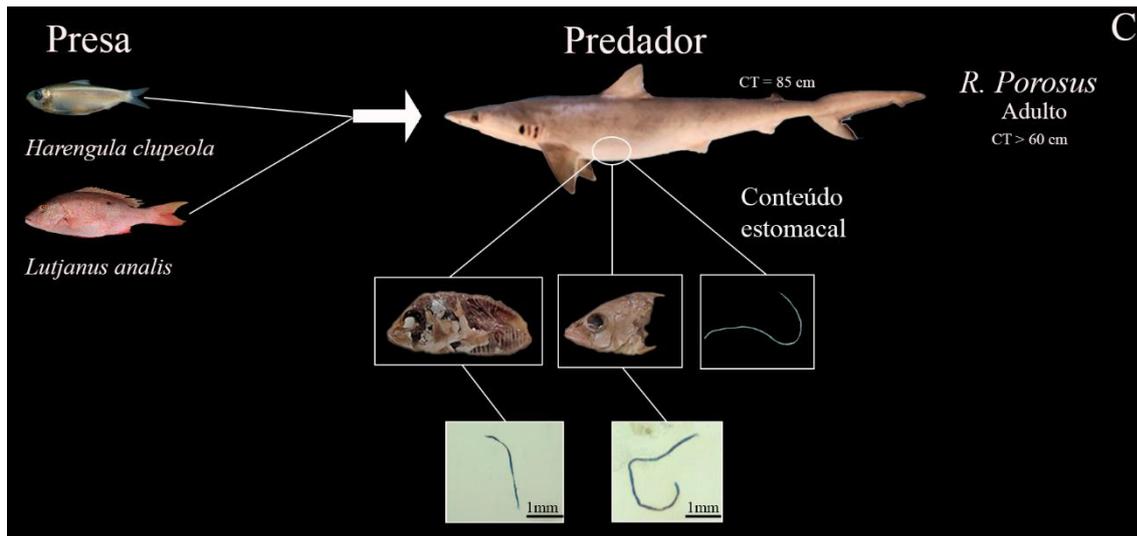
Figura 21 - Evidência de transferência trófica observada entre neonatos de *R. porosus* e presas (*Engraulidae*). Ambos, predador e presa estavam contaminados por fibras azuis de MP (A). Em B está a evidência de transferência trófica de MP em *R. porosus* jovens. O *R. porosus* e as presas estavam contaminados por MP e em C está a evidência de transferência de MP em *R. porosus* adultos.



Fonte: O autor (2023).



Fonte: O autor (2023).



Fonte: O autor (2023).

7 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que *R. porosus* utiliza a área costeira para completar seu ciclo de vida. No entanto, as fases ontogenéticas apresentaram distribuição diferente em função das estações do ano. Os adultos se agregam perto da costa para conceber os neonatos durante o início da estação seca. Depois disso, todas as fases ontogenéticas se movem para áreas costeiras distantes no final da estação seca e no início da estação chuvosa. Durante o final da estação chuvosa, os neonatos e jovens ficam distribuídos mais distantes da costa, enquanto os adultos retornam para a região costeira mais próxima para completar seu ciclo de vida. Uma vez que os jovens apresentaram maior densidade e biomassa principalmente no final da estação seca e início da estação chuvosa, esta região pode ser considerada um berçário para esta espécie.

As interações entre o nível trófico de *R. porosus*, suas fases ontogenéticas e as estações do ano parecem ser a chave para o entendimento da ecologia da contaminação observada neste estudo, como visto em outras espécies de peixes estudadas nesta região. A partir disso, *R. porosus* experimenta com uma variedade de presas de vários níveis tróficos (principalmente peixes), e a ingestão muda de acordo com a fase ontogenética (peixes demersais e pelágicos, cefalópodes e crustáceos). Isso sugere que, por seu hábito alimentar piscívoro, *R. porosus* tem contato com diversas formas e magnitudes de MP principalmente por transferência trófica como demonstrado pelas presas contaminadas encontradas neste estudo. A disponibilidade de presas na zona costeira está associada à mudança de salinidade pelas estações do ano. Essas relações entre o hábito alimentar das fases ontogenéticas de *R. porosus* e a disponibilidade de presas na zona costeira foram altamente relacionadas à contaminação por MP na costa leste da América do Sul.

A contaminação encontrada na presa, a quantidade de MP no trato gastrointestinal de *R. porosus* e as interações significativas entre MPs, estações do ano, fases ontogenéticas e presa ingerida, sugerem que esta espécie tem a transferência trófica como sua principal via de contaminação por MP. Esta é a primeira evidência de transferência trófica de MP para esta espécie. Por outro lado, outros estudos com espécies de elasmobrânquios simpátricos poderiam ser realizados com a mesma metodologia para gerar informações sobre a proporção de MP e os impactos

desses poluentes neste ecossistema. Além disso, o fato de *R. porosus* ser comumente consumido pela população ribeirinha local e a associação de MP com outros contaminantes (mercúrio) pode potencializar a deterioração da saúde das comunidades ribeirinhas locais.

A atividade de pesca artesanal e a presença de estuários foram importantes para os achados deste estudo, uma vez que estes são a principal fonte de contaminantes plásticos nesta área de estudo. A maior detecção de microplásticos nas estações chuvosas pode estar associada à intensificação do escoamento dos estuários para a zona costeira e ao aumento da pesca da lagosta nesta estação em nossa área de estudo. Mas independentemente disso, nossos achados mostram que o *R. porosus* está contaminado com MP na costa leste da América do Sul. Portanto, o estado de conservação de *R. porosus* nesta área está ameaçado devido às intensas atividades antrópicas que ocorrem na zona costeira.

Esta pesquisa mostrou a contaminação por MP em *R. porosus*, uma espécie de tubarão comum da costa leste da América do Sul. Os achados deste estudo indicam que a concentração de MP encontrada nesta espécie tem relação com a fase ontogenética, estação, precipitação e distância das capturas da costa. Portanto, a adição de parâmetros espaço-temporais e a metodologia utilizada neste estudo são recomendadas para futuras pesquisas sobre contaminação de MP em elasmobrânquios.

8 ARTIGO 1- TOP PREDATOR FEEDING ECOLOGY AND MICROPLASTIC (MP) CONTAMINATION IN THE FAR EASTERN SOUTH AMERICA'S COAST: EVIDENCE OF MP TROPHIC BIOTRANSFER

* Artigo formatado conforme as normas de submissão da revista Science of the total environment.

Melo, R.R.C.B.¹, Barletta, M.^{1*}, Cysneiros, F.J.A.², Tavares, M.I.B.⁴, Santana, K.⁴ Cavalcanti, R.D.S., Carty¹, S.P. Morley, S.A.³

- a. Laboratory of Ecology and Management of Coastal and Estuarine Ecosystems, Department of Oceanography, Centre of Technology and Geosciences, Federal University of Pernambuco, Av. Arquitetura s/n, Cidade Universitaria, CEP: 50740-550, Recife, Brazil.
- b. Department of Statistics of Federal University of Pernambuco, Av. Arquitetura s/n, Cidade Universitaria, CEP: 50740-550, Recife, Brazil.
- c. British Antarctic Survey (BAS), Natural Environment Research Council, High Cross, Madingley Road, Cambridge, CB30ET, UK.
- d. Institute of macromolecules Professora Eloisa mano (IMA), Federal University of Rio de Janeiro, Av. Horácio Macedo, 2030 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-598

*Corresponding author: tel: +5581994674878, +558121268225; e-mail: barletta@ufpe.br

Abstract

This study describes the feeding ecology, plastic debris contamination, and spatial distribution of each ontogenetic phase of, the Caribbean sharpnose shark, *Rhizoprionodon porosus* as a function of spatial-temporal parameters in the Western South American coastal area. The CPUE_N (density) and CPUE_W (biomass) for all individuals, in a surface drift gillnet fishery, were $1.3 \pm 0.3 \text{ ind.day}^{-1}$ and $877 \pm 232 \text{ g.day}^{-1}$. Neonates ($0.9 \pm 0.3 \text{ ind.day}^{-1}$ and $166.8 \pm 64 \text{ g.day}^{-1}$), and juveniles ($2.3 \pm 0.3 \text{ ind.day}^{-1}$ and $1351.7 \pm 129 \text{ g.day}^{-1}$) were captured during all seasons. Adults ($0.7 \pm 0.3 \text{ ind.day}^{-1}$ and $1111.8 \pm 556.4 \text{ g.day}^{-1}$) were largely caught during the late rainy and early dry seasons, probably moving offshore to adjacent open waters during the late dry season. The diet of *R. porosus* consisted mainly of fish (percentage frequency of occurrence; FO=71.8%). All ontogenetic phases were contaminated by plastic debris (FO=100%). Among the plastic debris detected in *R. porosus*, 91.6% were

microplastics (< 5 mm), of which blue fibers contributed 53.7%. The microplastic samples were analyzed by Optical microscopy (OM), Fourier Transform Infrared (FTIR), Scanning electron microscopy (SEM) and by the EDS technique (energy dispersion X-ray spectroscopy) and identified as polyethylene. *R. porosus* has a high ingestion rate of microplastic compared to fishes of lower trophic levels. In addition, many fishes within the stomach contents of *R. porosus* were themselves contaminated with microplastics (e.g., *Eugerres brasiliensis*, *Harengula clupeiola*, *Rhinosardinia bahiensis*, *Anchovia clupeioides*, *Monacanthus ciliatus*, *Polydactylus virginicus*, *Trachinocephalus myops*, *Eucinostomus melanopterus*, and *Lutjanus analis*). The piscivorous diet of *R. porosus* likely leads to accumulation of microplastic contamination in this top predator through trophic transfer.

Keywords: Chondrichthyes, Feeding ecology, Microplastics, Spatiotemporal Distribution, Top predator.

Comprovante de submissão do artigo à revista Science of the total environment:



ROGER RAFAEL CAVALCANTI BANDEIRA DE MELO <roger.rafael@ufpe.br>

Please verify your contribution to Top Predator Feeding Ecology and Microplastic (MP) Contamination on the far Eastern South America's Coast: Evidence of MP Trophic Biotransfer

Science of the Total Environment <em@editorialmanager.com> 9 de julho de 2023 às 22:23
 Responder a: Science of the Total Environment <support@elsevier.com>
 Para: Roger Melo <roger.rafael@ufpe.br>

This is an automated message.

Journal: Science of the Total Environment
 Title: Top Predator Feeding Ecology and Microplastic (MP) Contamination on the far Eastern South America's Coast: Evidence of MP Trophic Biotransfer
 Corresponding Author: Dr. Mario Barletta
 Co-Authors: Roger Melo, M.Sc.; Francisco Cysneiros, Full Professor; maria Bruno Tavares, Full Professor; Karoline S. Santana, M.Sc.; Rhayssa Cavalcanti, M.Sc.; Stephan P. Karty, M.Sc.; Simon Morley, Doctor
 Manuscript Number: STOTEN-D-23-21046

Dear Roger Melo,

The corresponding author Dr. Mario Barletta has listed you as a contributing author of the following submission via Elsevier's online submission system for Science of the Total Environment.

Submission Title: Top Predator Feeding Ecology and Microplastic (MP) Contamination on the far Eastern South America's Coast: Evidence of MP Trophic Biotransfer

Elsevier asks all authors to verify their co-authorship by confirming agreement to publish this article if it is accepted for publication.

Please read the following statement and confirm your agreement by clicking on this link: [Yes, I am affiliated.](#)

I irrevocably authorize and grant my full consent to the corresponding author of the manuscript to: (1) enter into an exclusive publishing agreement with Elsevier on my behalf (or, if the article is to be published under a CC BY license, a non-exclusive publishing agreement), in the relevant form set out at www.elsevier.com/copyright; and (2) unless I am a US government employee, to transfer my copyright or grant an exclusive license of rights (or for CC BY articles a non-exclusive license of rights) to Elsevier as part of that publishing agreement, effective on acceptance of the article for publication. If the article is a work made for hire, I am authorized to confirm this on behalf of my employer. I agree that the copyright status selected by the corresponding author for the article if it is accepted for publication shall apply and that this agreement is subject to the governing law of the country in which the journal owner is located.

If you did not co-author this submission, please contact the corresponding author directly at mario.barletta@ufpe.br.

Thank you,
 Science of the Total Environment

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa mostrou pela primeira vez a contaminação por MP em *R. porosus*, uma espécie de tubarão comum da costa oeste da América do Sul. Os achados de nosso estudo indicam que as concentrações de MP encontradas nessas espécies variam entre as estações do ano e fases ontogenéticas. Dessa forma, esse estudo reforça a importância da adição de parâmetros espaço-temporais para futuras pesquisas sobre a contaminação de MP em elasmobrânquios.

As interações entre o nível trófico de *R. porosus*, suas fases ontogenéticas e as estações do ano parecem ser a chave para o entendimento da ecologia da contaminação observada nesta pesquisa, uma vez que esta espécie experimenta um variado tipo de presas de vários níveis tróficos cuja ingestão muda com a fase ontogenética (peixes demersais e pelágicos, cefalópodes e crustáceos). Dessa forma, *R. porosus* tem contato com diversas formas e magnitudes de MP principalmente por transferência trófica. Sendo a disponibilidade de presas e MP na zona costeira associada à precipitação que altera o escoamento dos rios e a salinidade de acordo com a estação do ano.

A contaminação encontrada nas presas, a quantidade de MP no trato gastrointestinal de *R. porosus* e as interações significativas entre MP, estações do ano, fases ontogenéticas e presas ingeridas sugerem que esta espécie tem sua principal via de contaminação por transferência trófica. Esta é a primeira evidência de transferência trófica de MP para esta espécie no Oceano Atlântico Sul. Por outro lado, novos estudos com espécies de elasmobrânquios simpátricos poderiam dar uma melhor interpretação da proporção de MP e os impactos desses poluentes neste ecossistema. O fato do *R. porosus* ser comumente ingerido por pescadores e populações ribeirinhas é preocupante pela escala de contaminantes plásticos encontrados nestes tubarões. Além disso, a associação de MPs a outros poluentes (e.g. metais pesados) pode potencializar o agravo à saúde das populações ribeirinhas.

A atividade pesqueira artesanal e a presença de estuários tiveram importância em nossos achados uma vez que estes são a principal fonte de contaminantes plásticos em nossa área de estudo. A maior detecção de microplásticos nas estações chuvosas pode estar associada à intensificação do

escoamento dos estuários para a zona costeira e ao aumento da pesca da lagosta nesta estação em nossa área de pesquisa. Mas independentemente disso, nossos achados mostram que *R. porosus* está altamente contaminado com MP na área costeira do oeste da América do Sul. Assim, estas espécies necessitam de apoio e estudos para uma avaliação real do seu estado de conservação nesta área devido às intensas atividades antrópicas que ocorrem na zona costeira.

REFERÊNCIAS

- Almeida, Z. S., Silva, C. M. L. Alimentação de *Rhizoprionodon porosus* (Elasmobranchii: Carcharhinidae) da costa do Maranhão, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo, 27(2): 201 – 207, 2001.
- Alomar, C. & Deudero, S. Evidence of microplastic ingestion in the shark *Galeus melastomus* Rafinesque, 1810 in the continental shelf of the western Mediterranean Sea. Environ. Pollut. 223, 223–229. 2017.
- Aragão, J.O.R. A influência dos oceanos Pacífico e Atlântico na dinâmica do tempo e do clima do Nordeste do Brasil. pp. 287-317. In: Eskinazi-Leça, E.; Neumann-Leitão, S. & Costa, M.F. (org.). Oceanografia - Um cenário tropical. Recife, Bagaço, 2004.
- Barboza, L. G. A., Vieira, L. R., Branco, V., Carvalho, C., & Guilhermino, L. *Microplastics increase mercury bioconcentration in gills and bioaccumulation in the liver and cause oxidative stress and damage in Dicentrarchus labrax juveniles. Scientific Reports, 8(1). 2018. doi:10.1038/s41598-018-34125-z*
- Barletta, M., Barletta-Bergan, A., Saint-Paul, U. & Hubold, G. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. Journal of Fish Biology 66, 1–28. 2005.
- Barletta, M., Costa, M. F., Dantas, D. V. Ecology of microplastics contamination within food webs of estuarine and coastal ecosystems. MethodsX, [S. l.], v. 7, p. 100861, 2020. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100861>
- Barletta, M., Costa, M. F. Living and non-living resources exploitation in a tropical semi-arid estuary. Journal of Coastal Research, 56: 371-375.2009.
- Barletta, M., Dantas, D.V. Environmental gradients. In: Kennish, M.J. (Ed.), Encyclopedia of Estuaries. Springer, New Jersey, USA, pp. 237–242. 2016a.
- Barletta, M., Dantas, D.V. Fish Assemblages. In: Kennish, M.J. (eds) Encyclopedia of Estuaries. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. 2016b. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_138
- Barletta, M., Lima, A.R.A., Costa, M.F. Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in south american estuaries, Sci. Total Environ. 651 (2019) 1199–1218, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.276>
- Barletta, M., Lucena, L.R.R., Costa, M.F., Barbosa-Cintra, S.C.T., Cysneiros, F.J.A. The interaction rainfall vs. weight as determinant of total mercury concentration in fish from a tropical estuary. Environ. Pollut. 167, 1–6. 2012.

Beck, M. W., Heck, Jr, K., Able, K., Childers, D., Eggleston, D., Gillanders, B., Halpern, B. et al. 2003. The Role of Nearshore Ecosystems as Fish and Shellfish Nurseries. *Issues in Ecology*, Ecological Society of America, 11: 1–12, 2003.

Belleggia, M., Battagliotti, C., Cortés, F. *et al.* Feeding together: a global diet analysis of twenty-three species of chondrichthyes on a feeding ground area. *Hydrobiologia* **842**, 77–99, 2019. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04027-w>

Bornatowski, H., Heithaus, M.R., Abilhoa, V., Corrêa, M.F.M. Feeding of the Brazilian sharpnose shark *Rhizoprionodon lalandii* (Müller & Henle, 1839) from southern Brazil. *J Appl Ichthyol.* 28(4):623-27, 2012. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.01970.x>

Bornatowski, H., Braga, R.R., Abilhoa, V., Corrêa, M.F.M. Feeding ecology and trophic comparisons of six shark species in a coastal ecosystem off southern Brazil. *J Fish Biol.* 85(2):246-63, 2014. doi: <https://doi.org/10.1111/jfb.12417>

Camhi, M., Fowler, S., Musick, J., Brautigan., Fordhan, S. Sharks and their relatives. Ecology and Conservation. Occas. Paper of the IUCN Species Survival Commission. v. 20, p. 1-39, 1998.

Compagno, L.J.V. Sharks of the world - An annotated and illustrated catalogue of shark species know to date. *Fao species catalogue*. Vol. 4., parts 1/2, 665p, 1984.

Cortés, E. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54, 726–738, 1997. doi: 10.1139/cjfas-54-3-726

Costa, M.F., Barletta, M. Microplastics in coastal and marine environments of the western tropical and sub-tropical Atlantic Ocean. *Environ. Sci.: Processes Impacts* 17, 1868–1879, 2015. doi: <https://doi.org/10.1039/c5em00158g>

Dantas, D. V., Barletta, M., Costa, M. F., Barbosa-Cintra, S. C. T., Possatto, F. E., Ramos, J. A., Lima, A. R. A. et al. Movement patterns of catfishes (Ariidae) in a tropical semi-arid estuary. *Journal of Fish Biology*, 76: 2540–2557. 2010.

Dantas, D.V., Barletta, M., Ramos, J.A.A., Lima, A.R.A., Costa, M.F. Seasonal diets shifts and overlap between two sympatric catfishes in an estuarine nursery. *Estuar. Coasts* 36, 237–256, 2013. doi: <https://doi.org/10.1007/s12237-012-9563-2>

Dantas, D.V., Barletta, M., Costa, M.F. Feeding ecology and seasonal diet overlap between *Stellifer brasiliensis* and *Stellifer stellifer* in a tropical estuarine ecocline. *Journal of Fish Biology*, 86(2), 707–733, 2015; doi: <https://doi.org/10.1111/jfb.12592>

Ferreira, G.V.B., Barletta, M., Lima, A.R.A., Dantas, D.V., Justino, A.K.S., Costa, M.F. Plastic debris contamination in the life cycle of *Acoupa weakfish* (*Cynoscion*

acoupa) in a tropical estuary. *ICES J. Mar. Sci. J. du Cons.* 73, 2695–2707, 2016. doi: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw108>

Ferreira, G.V.B., Barletta, M., Lima, A.R.A., Morley, S.A., Justino, A.K.S., Costa, M.F. High intake rates of microplastics in a Western Atlantic predatory fish, and insights of a direct fishery effect. *Environ. Pollut.* 236, 706–717, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.095>

Ferreira, G. V. B., Barletta, M., Lima, A. R. A. Use of estuarine resources by top predator fishes. How do ecological patterns affect rates of contamination by microplastics? *Sci. Total Environ.* 655, 292–304, 2019a. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.229>

Ferreira, G.V.B., Barletta, M., Lima, A.R.A., Morley, S.A., Justino, A.K.S., Costa, M.F. Dynamics of Marine Debris Ingestion by Profitable Fishes Along the Estuarine Ecocline. *Nature scientific reports.* 9:13514, 2019. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49992-3>

Figueiredo, J.L. Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. I. Introdução. Cações, raias e quimeras. Museu de Zoologia, Universidade de Sao Paulo. Brasil. 104 p, 1977

Gewert, B., Plassmann, M.M., Macleod, M. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environ. Sci. Process. Impacts* 17, 1513–1521, 2015. doi: <https://doi.org/10.1039/C5EM00207A>

Hynes, H. B. N. The food of fresh-water sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*), with a review of methods used in studies of the food of fishes. *Journal of Animal Ecology* 19, 36–57, 1950. doi: 10.2307/1570

Hyslop, E. J. Stomach contents analysis-a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology* 17, 411–429, 1980. doi: 10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x

Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., Neter, J. and Li, W. Applied Linear Statistical Models. 5th Edition, McGraw-Hill, Irwin, New York. 2005.

Lima, A. R. A., Costa, M. F., Barletta, M. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. *Environmental Research*, 132: 146–155, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.03.031>

Lima, A.R.A., Barletta, M., Costa, M.F. Seasonal distribution and interactions between plankton and microplastics in a tropical estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 165, 213–225, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.018>.

Manso V.A.V., Toldo Jr. E., Medeiros C., Almeida L.E.S.B. Perfil praias de equilíbrio da praia de Serinhaém, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geomorfologia, Uberlândia*, 2(1):45- 49, 2006. doi: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v2i1.7>
Nelder, J.A; McCullagh, P. *Generalized Linear Models* (2nd ed.). Routledge. 1983
<https://doi.org/10.1201/9780203753736>

Ory, N.C., Sobral, P., Ferreira, J.L., Thiel, M. Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Sci. Total Environ.* 586, 430e437. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.175>.

Palmer, M.W. Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology* 74, 2215e2230. 1993. <https://doi.org/10.23071939575>.

Parton, K.J., Godley, B.J., Santillo, D. *et al.* Investigating the presence of microplastics in demersal sharks of the North-East Atlantic. *Sci Rep* 10, 12204. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68680-1>

Pinkas, L. M., Oliphant, S. & Iverson, I. L. K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in Californian waters. California Department of Fish and Game Fish Bulletin 152, 1971.

Possatto, F.E., Barletta, M., Costa, M.F., Ivar Do Sul, J.A., Dantas, D.V. Plastic debris in gestion by marine catfish: an unexpected fisheries impact. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1098–1102. 2011. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.01.036>

Prince, E. D. Pinnixid crabs in the diet of young of the year copper rockfish (*Sebastes cuuri-us* J. Trans. Am. Fish. Soc. 104. 539-540. 1975.

Ramos, J.A.A., Barletta, M., Costa, M.F. Ingestion of nylon threads by gerreidae while using a tropical estuary as foraging grounds. *Aquat. Biol.* 17, 29–34, 2012. doi: <https://doi.org/10.3354/ab00461>

Ramos, J.A.A., Barletta, M., Dantas, D.V., Costa, M.F. Seasonal and spatial ontogenetic movements of Gerreidae in a Brazilian tropical estuarine ecocline and its application for nursery habitat conservation. *J. Fish Biol.* 89, 696–712, 2016. doi: <https://doi.org/10.1111/jfb.12872>

Rigby R. A., D. Stasinopoulos M. D., Heller Z. G., De Bastiani, F. Distributions for Modeling Location, Scale, and Shape Using GAMLSS in R. Chapman and Hall/CRC. 1999.

Ryabinin, V., Barbière, J., Haugan, P., Kullenberg, G., Smith, N., *et al.* The UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development. *Front Mar Sci.* 6:470. 2019. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00470>.

Salazar-Pérez, C., Amezcua, F., Rosales-Valencia, A., Green, L., Polloreña-Melendrez, J.E., Sarmiento-Martínez, M.A., Tomita Ramírez, I., Gil-Manrique, B.D., Hernandez-Lozano, M.Y., Muro-Torres, V.M., Green-Ruiz, C., Pinon-Colin, T.D.J., Wakida, F.T., Barletta, M. First insight into plastics ingestion by fish in the Gulf of California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin.* v 171 (2021) 112705, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112705>

Shibuya, A., Rosa, R. S. Stomach contents of the Caribbean sharpnose shark *Rhizoprionodon porosus* (Poey 1861) (Elasmobranchii: Carcharhinidae) from the coast of Paraíba, Brazil. *Revista Nordestina de Biologia* V 27, n 1, 2019. doi: <https://doi.org/10.22478/ufpb.2236-1480.2019v27n1.47726>

Silva, J.D.B., Barletta, M., Lima, A.R.A., Ferreira, G.V.B. Use of resources and microplastic contamination throughout the life cycle of grunts (Haemulidae) in a tropical estuary, *Environmental Pollution*, 2018. doi: 10.1016/j.envpol.2018.07.038

Smith, L. E. Plastic ingestion by *Scyliorhinus canicula* trawl captured in the North Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 130, 6–7. 2018.

Ter Braak, C. J. F., Smilauer, P. CANOCO References Manual and CanocoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5), 2002.

Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304, 838, 2004. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1094559>

Valente, T., *et al.* Exploring microplastic ingestion by three deep-water elasmobranch species: a case study from the Tyrrhenian Sea. *Environ. Pollut.* 253, 342–350. 2019

Viana, A.F., Valentin, J.L., Vianna, M. Feeding ecology of elasmobranch species in southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 15(2): e160176, 2017. doi: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160176>

Waltham, N. J., Elliott, M., Lee, S. Y., Lovelock, C., Duarte, C. M., Buelow, C., Simenstad, C., Nagelkerken, I., Claassens, L., K-C Wen, C., Barletta, M., Connolly, R.M., Gillies, C., Mitsch, W.J., Ogburn, M.B., Purandare, J., Possingham, H., Marcus Sheaves, M. UN Decade on Ecosystem Restoration 2021–2030 What Chance for Success in Restoring Coastal Ecosystems? *Em Frontiers in Marine Science*. Vol 7. Article 71, Fevereiro, 2020. doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00071>