

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA
BIOLÓGICA

INGESTÃO DE PLÁSTICOS POR PEIXES MARINHOS
COMERCIALMENTE IMPORTANTES NO SUDESTE-SUL
DO BRASIL

JOSÉ GABRIEL BARBOSA NETO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Oceanografia Biológica da
Universidade Federal do Rio Grande – FURG,
como requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE.

Orientador: Prof. Dra. Máira C. Proietti
Co-Orientador: Dr. Fábio L. Rodrigues

RIO GRANDE
Agosto de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço à querida FURG, que me apresentou a oportunidade de seguir a jornada que um dia eu imaginei trilhar.

À minha família por fazerem jus às palavras fé, esperança, amor, que sempre suportou a distância por acreditar em mim e nesse sonho. A saudade é forte, mas tenho aprendido que meu amor é maior que o tempo e espaço juntos. Agradeço a você Mãe, por todas as orações, todo cuidado, todo amor a cada ligação, por todas palavras de ânimo. Agradeço à você Dinha, minha mãezinha do coração, por todo amor e carinho, por você sonhar meus sonhos, por você crêr em mim. Agradeço à Dani, Gabi Jok, Neide, Tatinha, Jonatinha, Rebeka e Levi por serem muito mais do que eu poderia pedir à Deus em minha vida.

Aos meus amigos de Fortaleza, em especial ao Sisi, meu amigo, meu irmão de alma que sempre tornou meus dias felizes e que me acompanhou em todos meus dias tristes. À Mayra, Lou, Igor, Lany, Alef por me abraçarem com o coração e serem meus amigos queridos. Saibam que metade de mim ficou com vocês, até porque seria difícil me separar de cada um.

À Osca, Cris, Gleire, Oziléa e Cristina, por acreditarem no potencial do meu espírito selvagem e na vontade pela qual sou movido. Agradeço pelas oportunidades que me deram de trabalhar perto de vocês. Agradeço pela confiança e pela inspiração. Vocês são lindas e me inspiram até hoje a ser melhor.

À Luiza, minha mãe pedrosorense que escolheu me amar, mesmo não conhecendo e conhecendo, decidiu continuar amando. Você, Julia, Gabi são pessoas muito especiais pra mim.

À Aninha (Mai) por ter me recebido logo que chegue em Rio Grande e por ter me ajudado em todo meu percurso do Mestrado. Você é uma das joias mais lindas que tive a sorte de conhecer por aqui!

À todas palavras de ânimo e à todos a braços que recebi de Vera, Robs, Cris Flores, Adna e Garcia. Vocês foram luz nos meus dias nublados e motivo de alegria nos meus momentos de distração.

Aos meus companheiros dos Crustáceos, Ictio, Demersais e Hidroacústica, com os quais interagi nos laboratórios ou até mesmo nos corredores do IO. Como foi importante pra mim interagir com cada um de vocês nas bancadas ou mesmo nas pausas-lanche. Em especial ao Márcio, Gustavo e Juliano que providenciaram as amostras junto de sua equipe altamente especializada. À Mari, Samantha, Lu, Davi (Sr.) e Sara por se diporem a me ajudar no que fosse preciso. Vocês me ensinaram bastante durante esse período de 2 anos a cada ideia compartilhada, me mostraram como ser um profissional melhor e conectado nessa teia da vida. Faltaria espaço para destacar o nome de cada um de vocês que participou direta ou indiretamente desse trabalho, mas ficou claro pra mim o sentimento de unidade, empatia e prontidão. Por tudo isso, agradeço a todos vocês!

Aos meus amigos da Hidroquímica e do Laboratório de Física-química, pela paciência e pela disposição em me esclarecer metodologias que até então eram bem abstratas pra mim. Em especial gostaria de agradecer ao professor Felipe, Lara, Maria e Fiamma. Vocês são incríveis!

Aos meus amigos da OEA, por me mostrarem em nossos encontros um pouco de cada cultura de seus países de origem. Aprendi muito com vocês, principalmente que existem muito mais semelhanças do que diferenças entre nossas culturas. Lurvin, Carol, Franco, Maria, Luís, Manoel, Tati e Margarita, se fosse preciso, repetiria os mesmos passos para simplesmente para os conhecê-los novamente, até porque nunca me senti com frio perto de vocês, mesmo que estivéssemos no inverno.

Aos amigos do PPGOB por compartilhar tantas experiências, e em especial à Camila Carvalho, garotinha de Sorocaba que abraçou o Amazonas, os peixe-boi e que também me mostrou a ternura do seu abraço. Você me mostrou os lugares que um sonho poderiam levar. Sua garra e determinação me inspiraram a seguir com meus ideais e a fazer o meu melhor sempre. Além disso, obrigado pela presença, por fazer do meu dia algo mais bonito, seja em momentos de estudo, seja nos momentos de diversão. Eu agradeço ao Universo por ter te conhecido em Rio Grande, baby!

À Déias (Mesquita e Angel), Lê Baldoni e Cam Rodrigues e à todos meus queridos do ECOMEGA e PLÂNCTON. Ganhava o dia sempre que os via. Muito obrigado por abrirem os laboratórios pra mim para estudo. Ao meu querido amigo Fábio das artes

por ser uma pessoa maravilhosa, cheia de luz. Garotinho, te agradeço tanto pelas imagens lindas que você fez com tanto esmero e carinho.

À Déa, minha amiga de longa data, que me abraçou com o coração em todos os momentos. Você é uma estrelinha que brilha muito. Você não tem ideia o quanto sou feliz em está perto de você em todas nossas conversas, passeios, experimentos gastronômicos inéditos. Sinto que o tempo passa mais rápido, por causa do nossas conversas. Fortaleza ficou pertinho toda vez que nos encontrávamos, e como era bom cada momento em que estivemos juntos! Te agradeço por todos conselhos, por todo cuidado, por toda sensação de segurança que você me passou. Com certeza foi muito mais fácil enfrentar essa nova experiência, em um novo lugar tendo a sua companhia! Muito obrigada por tudo!

À Dai, minha querida ariana que me inspirou à ter resiliência. Lindinha, você não sabe o carinho que sinto por ti. Cada troca de experiência, cada abordagem holística, isso me trouxe muita paz e serenidade nesse percurso. Sinto que nosso grupo Zen me agregou muito autoconhecimento e força para superação dos obstáculos nas minhas mais diversas esferas. E você faz parte disso! Muito obrigado!

Ao Cris, por fazer meu mundo crescer a cada sorriso seu. Por me amar, por acreditar em mim. Por não se afastar. Saiba que as suas vitórias, são minhas vitórias, e as minhas vitórias são suas também. Adoro sua companhia, seu jeito mimoso. Você me inspira a ser melhor a cada dia. Muito obrigado por suportar em amor cada momento de stress. Você é um anjo que foi mandado pra ficar do meu lado. Muito obrigado por tudo, Te amo!

A todos os pesquisadores e amigos do projeto Lixo marinho que dividiram momentos em campo comigo. Pra mim foi uma honra me ver cercado por pessoas iguais a vocês que também foram provocados a fazer algo a mais enquanto cientista, diante de todos desafios que o lixo marinho apresenta. Em especial à Melanie, Milena, Aliane, Flávia e Bruna, gostaria de um dia ser 1% do que vocês são hoje. Espero que um dia volte a trabalhar novamente com vocês!

À Ily, Lucas e Aninha por todo tempo, paciência, atenção e carinho. A cada troca de experiências, cada sugestão de análise estatística, a cada resolução de situações até então desconhecidas pra mim. Isso foi crucial para que eu chegasse aqui. Sem palavras

pra descrever a minha admiração e gratidão! Espero que vocês recebam o melhor sempre.

À minha orientadora Maíra, por ter aberto as portas do laboratório, por atender aos chamados mesmo com a correria dos afazeres burocráticos, por confiar em mim e por acreditar que sempre podia melhorar! Ao meu orientador Fábio por toda a atenção nesses dois anos e meio de mestrado, toda a disposição em ajudar desde o começo. Sua praticidade e organização me inspiraram a fazer sempre o meu melhor. Mais do que nunca, fica evidente pra mim a frase: “Se eu vi mais longe foi por estar sobre ombros de gigantes”.

Aos Prof. Leonardo Evangelista Moraes e Luis Gustavo Cardoso, por terem aceito nosso convite para participar da banca.

Ao CNPq pela concessão da bolsa e ao PPGOB por toda a estrutura e auxílios para realizar esse trabalho.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1	
HIPÓTESES.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
<i>1.2.1 Objetivo geral.....</i>	<i>12</i>
<i>1.2.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>12</i>
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	12
<i>2.1.1 Identificação do conteúdo estomacal e classificação.....</i>	<i>15</i>
2.2 ANÁLISE DOS DADOS.....	16
<i>2.2.1 Ocorrência de plásticos em peixes marinhos.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2.2 Características dos plásticos ingeridos: tamanho, tipo, cor e composição química.....</i>	<i>17</i>
<i>2.2.3 Ingestão de acordo com o tamanho do peixe.....</i>	<i>18</i>
3. RESULTADOS.....	19
<i>3.1 Ocorrência de ingestão de plástico em peixes marinhos.....</i>	<i>19</i>
<i>3.2 Características dos plásticos ingeridos: tamanho, tipo, cor e composição poslimérica.....</i>	<i>20</i>
<i>3.3 Ingestão de acordo com o tamanho do peixe.....</i>	<i>24</i>
4. DISCUSSÃO.....	26
<i>4.1. Ocorrência de ingestão de plásticos por peixes marinhos.....</i>	<i>26</i>
<i>4.2 Características dos plásticos ingeridos: tamanho, tipo, cor e composição polimérica.....</i>	<i>29</i>
<i>4.3. Ingestão de acordo com o tamanho do peixe.....</i>	<i>32</i>
4. CONCLUSÕES.....	33
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

MATERIAL
SUPLEMENTAR.....45

RESUMO

O crescente aumento de plásticos nos oceanos tem ocasionado um aumento nas interações negativas entre estes resíduos e a biota marinha, incluindo a ingestão por espécies de peixes que são importantes recursos pesqueiros. Neste trabalho, foi avaliada a ingestão de plásticos por oito espécies de peixes marinhos comercialmente explorados no litoral sudeste-sul do Brasil, para responder se: 1) as espécies analisadas apresentam plásticos em seus tratos digestivos; 2) existem diferenças na quantidade, cor e tipos de plásticos ingeridos pelas espécies pelágicas, demersal-pelágicas e demersais; e 3) o tamanho do peixe influencia na quantidade de itens plásticos ingeridos. Para isto foi analisado o conteúdo digestivo de 964 peixes com estereomicroscópio, e os plásticos encontrados foram classificados quanto ao tamanho, tipo, cor e composição química. Todas as espécies ingeriram plásticos, com o bonito-listrado *Katsuwonus pelamis* apresentando a maior frequência de ocorrência (25.8%) de ingestão, seguido pela anchova *Pomatomus saltatrix* (19.7%) e com menor ingestão pela cabrinha *Prionotus punctatus* (5%). Peixes pelágicos apresentaram maior frequência de ocorrência de ingestão quando comparados aos demersal-pelágicos e demersais. Dentre os plásticos, os microplásticos (< 5mm) predominaram em todas espécies, mas peixes demersal-pelágicos ingeriram também mesoplásticos (de 5 a 25mm), e os pelágicos, meso e macroplásticos (> 25mm). Fibras e fragmentos foram os principais itens encontrados, possivelmente provenientes de materiais de pesca. As cores que mais ocorreram foram transparente, preto e azul, e com os polímeros a poliamida e o poliuretano. Não foi verificada relação entre o tamanho dos peixes das diferentes espécies analisadas com as quantidades de plástico ingerido. Considerando os impactos negativos da ingestão de plásticos para os peixes marinhos, e potencialmente para a saúde humana, compreender os padrões de ingestão de plásticos por peixes explorados pela pesca é fundamental para identificar as possíveis origens do material ingerido, auxiliar na definição de medidas para a prevenção desse impacto no ambiente marinho e contribuir para uma gestão efetiva que contemple a dispersão dos plásticos além dos limites legais municipais, estaduais e nacionais.

Palavras-chave: Poluição plástica, microplásticos, teleósteos, habitat, fibras e linhas

ABSTRACT

The progressive increase of plastics in the oceans leads to negative interactions between this type of debris and marine biota, including ingestion by fish species that are important fishery resources. In this work, we analyzed a plastic intake by eight commercially exploited marine fish species off the southern coast of Brazil, in order to know if 1) as analyzed species using plastic in their digestive tract; 2) there are differences in the amount, color and types of plastics ingested by pelagic, demersal and demersal species and if 3) the size of the fish influences the amount of plastics ingested. For this, we analyzed the digestive content of 964 fish with stereomicroscope, and classified as plastic in size, type, color. Later the plastics were used for an alkaline saline treatment to identify their chemical composition in the FTIR. All species ingested plastics, with the skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* presenting the highest frequency of occurrence (25.8%) of ingestion, followed by the anchovy *Pomatomus saltatrix* (19.7%) and with the cabrinha *Prionotus punctatus* presenting lowest ingestion (5%). Pelagic fish had higher frequencies of plastic ingestion when compared to demersal-pelagic and demersal fish. Among plastics, microplastics (< 5.0mm) predominated in all species, but demersal-pelagic fish also ingested mesoplastics (5 to 25mm), and pelagic fish meso and macroplasticos (> 25mm). Fibers and fragments were the main items found, likely originating from fishing materials. The most frequent colors were transparent, black and blue, and in relation to polymers, polyamide and polyurethane. There was no relationship between the size of fish of the different species analyzed with the amounts of plastic ingested. Considering the negative impacts of plastic ingestion on marine fish, and potentially on human health, understanding the patterns of plastic ingestion by fish exploited by fisheries is critical to identifying the possible origins of ingested material to assist in defining measures to the prevention of this impact on the marine environment and contribute to the effective management that contemplates the dispersion of plastics beyond the municipal, state and national legal limits.

Keywords: Plastic pollution, microplastics, teleosts, habitat, fibers and lines

1. INTRODUÇÃO

Os plásticos representam um conjunto de materiais sintéticos de crescente produção e uso, cujos atrativos principais incluem versatilidade, durabilidade, impermeabilidade e baixos custos. Estudos relatam a presença desses poluentes em diversas regiões e ecossistemas do planeta, em todos os oceanos e até em regiões remotas como o Ártico e a Antártica (Lacerda et al. 2019, Mazzolini 2010). Elevadas quantidades de resíduos plásticos chegam nos oceanos: estima-se que de 5-10% da produção global anual de plásticos (420 Mt em 2017; Plastic Europe 2018) entram no ambiente costeiro e marinho devido ao descarte incorreto e gestão e manejo inadequados do lixo produzido (Jambeck et al. 2017). Esta realidade tem causado sérios impactos ambientais, de dimensões globais, com diversos efeitos na biota marinha, ambientes bentônicos, economia e saúde pública, gerando grandes perdas em serviços ecossistêmicos (Beaumont et al. 2019).

Dentre os principais impactos dos plásticos na biota marinha, destaca-se a ingestão, já reportada para centenas de espécies marinhas de diversos grupos, incluindo invertebrados, aves, tartarugas, mamíferos e peixes (Gall & Thompson 2015). A elevada disponibilidade de plásticos no ambiente pode levar à sua ingestão acidental ou intencional, causando impactos físicos, como falsa sensação de saciedade, desnutrição, alterações fisiológicas e comportamentais, além dos potencialmente químicos pelo contato com compostos tóxicos usados na sua fabricação ou adsorvidos à sua superfície (Miranda & Carvalho 2016). Além das consequências ecológicas, a ingestão de plásticos por recursos pesqueiros como peixes pode afetar a saúde humana. Compostos tóxicos quimicamente disponíveis na água podem ser adsorvidos nos plásticos e, quando ingeridos dessa forma, podem bioacumular nos tecidos dos organismos e serem transferidos e magnificados por biomagnificação para níveis tróficos superiores, incluindo os seres humanos como consumidores de topo (Teuten et al. 2009, Setälä et al. 2014).

A ingestão de plásticos por peixes foi reportada pela primeira vez em 1972 (Carpenter et al. 1972) e desde então foi relatada para ao menos 387 espécies de peixes em todos os oceanos e em diversos mares (e.g., Boerger et al. 2010, Cannon et al. 2016, Kühn et al. 2017, Alomar & Deudero 2017, Collard et al. 2017, Karami et

al. 2018). Esta ingestão pode ocorrer quando o peixe confunde o plástico com itens alimentares, quando ele co-ocorre com seu alimento, ou quando uma presa que ingeriu plástico é consumida (Carson 2014). Os hábitos alimentares e habitat ocupado pelo organismo podem influenciar esta ingestão. Por exemplo, no Pacífico Sul foi observado que peixes onívoros selecionaram fragmentos de cores correspondentes aos seus itens alimentares (Mizraii et al. 2017, Ory et al. 2017). A ingestão de plástico também foi relatada para peixes de diversas guildas tróficas, com variação no tamanho de fragmentos ingeridos associada ao comportamento alimentar dos organismos: herbívoros ingeriram mais plásticos do que onívoros e carnívoros, devido ao fato de partículas plásticas co-ocorrerem com seus itens alimentares (Andrade et al. 2019). Além disso, já foi demonstrado que algumas espécies de peixes que ocupam habitats mais próximos de áreas urbanizadas apresentaram maior ingestão de plástico do que as de locais com menor urbanização, devido à maior disponibilidade deste material no ambiente (Peters & Bratton 2016).

No Brasil, a ingestão de plásticos por peixes estuarinos e marinhos já foi reportada para a região nordeste, aonde foram verificadas diferenças de ingestão de plástico em um total de 182 peixes estuarinos das espécies de bagre *Cathorops spixii* (18%), *C. agassizii* (33%) e *Sciades herzbergii* (17%), nos quais se encontrou com maior frequência fragmentos de nylon provenientes da atividade pesqueira (Possatto et al. 2011). Outro estudo na região encontrou nylon azul provenientes de cordas usadas na pescaria, presente em 13,4% dos indivíduos amostrados de três espécies: *Eugerres brasilianus*, *Eucinostomus melanopterus* e *Diapterus rhombeus* (Ramos et al. 2012). Na avaliação de assembléias de peixes em dois estuários tropicais do nordeste brasileiro também foi verificada ingestão de plásticos, com 9% dos indivíduos de 24 espécies contendo microplásticos nos seus tratos e esta ingestão ocorrendo independentemente do tamanho do peixe e do grupo funcional (Vendel et al. 2017). No sul do país, foram encontrados objetos como papelão, fios de nylon verdes, pedaços de plástico branco rígido, saco plástico preto e anzol de espinhel em estômagos de tubarões-azuis *Prionace glauca* de águas oceânicas (Hazin 1994).

No sudeste-sul do Brasil, espécies pelágicas de grande importância econômica incluem o bonito-listrado *Katsuwonus pelamis* e a anchova *Pomatomus saltatrix*, que ingerem presas pelágicas, demersais e bentônicas como peixes,

cefalópodes e crustáceos (Castello & Habiaga 1989, Haimovici & Miranda 2005). Espécies demersal-pelágicas exploradas na região incluem a pescada *Cynoscion guatucupa*, o goete *Cynoscion jamaicensis* e a pescadinha *Macrodon atricauda*, que se alimentam de pequenos peixes e crustáceos (Cardoso & Haimovici 2016). Já as espécies demersais incluem a castanha *Umbrina canosai*, a corvina *Micropogonias furnieri* e a cabrinha *Prionotus punctatus*, que possuem dietas compostas principalmente por presas demersais e bentônicas como peixes, equinodermos, crustáceos, poliquetas e moluscos (Haimovici et al. 1989, Martins 2000). Devido aos diferentes habitats ocupados e a diversidade de presas consumidas, estas espécies podem apresentar variados padrões de ingestão de plásticos, o que pode levar a diferentes impactos nestes peixes, assim como em seus consumidores.

A avaliação da ingestão de plásticos por peixes comercialmente explorados permite compreender os seus impactos ecológicos, econômicos e à saúde humana, auxiliando na prevenção deste problema. Desta forma, o presente trabalho visou avaliar as quantidades e características dos plásticos ingeridos por peixes de diferentes habitats marinhos e capturados pela pesca industrial na região sudeste-sul do Brasil. Além disso, avaliamos se características biológicas e ecológicas (i.e., tamanho e habitat ocupado) das espécies influenciam a ingestão de plásticos.

1.1 HIPÓTESES

- 1) Todas as espécies analisadas apresentam plásticos em seus tratos digestivos.
- 2) O habitat ocupado pelos peixes influencia na quantidade, tamanho, tipo e cor dos plásticos ingeridos.
- 3) O tamanho dos peixes analisados influencia na quantidade de plásticos ingeridos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a ingestão de resíduos plásticos por oito espécies de peixes economicamente importantes no sudeste-sul do Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Quantificar e caracterizar os resíduos plásticos ingeridos por oito espécies de peixes marinhos, dentre pelágicas, demersal-pelágicas e demersais que são exploradas pela pesca industrial no sudeste-sul do Brasil;
- Comparar a variação na ingestão de plásticos, para as espécies de peixes com diferentes hábitos;
- Avaliar se as características biológicas e ecológicas dos peixes (tamanho e habitat ocupado) influenciam na abundância, frequência de ingestão, quantidade, tipo e cor dos plásticos ingeridos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Neste trabalho foram coletados 964 exemplares de peixes de oito espécies da costa brasileira, sendo duas pelágicas (bonito-listrado *K. pelamis*, n = 120; anchova *P. saltatrix*, n = 122), três demersal-pelágicas (pescada *C. guatucupa*, n = 124; goete *C.n jamaicensis*, n = 120; pescadinha *M. atricauda*, n = 121) e três demersais (castanha *U. canosai*, n = 120; corvina *M. furnieri*, n = 118; cabrinha *P. punctatus*, n = 120). Os exemplares de *K. pelamis* foram capturados na região sudeste-sul em 2016-2018, utilizando a técnica de vara e isca viva. Os exemplares de *P. saltatrix* foram capturados por meio de redes de emalhe de pelágicas entre 2017 e 2018 (Figura 1a). Os exemplares demersal-pelágicos foram capturados entre os anos de 2017 e 2018: *C. guatucupa* foram capturados por meio de arrasto de parelha e malha

de superfície; *C. jamaicensis* e *M. atricauda* foram capturados por meio de arrasto de parelha (Figura 1b). Os exemplares demersais *U. canosai*, *M. furnieri* e *P. punctatus* foram capturados entre 2017 e 2018 por arrasto de parelha (Figura 1c). Os peixes foram pesados com uma balança digital ($\pm 0,0001$ g) e medidos (cm) em termos de comprimento furcal (CF, para *K. pelamis*) e comprimento total (CT, demais espécies) com um ictiômetro.

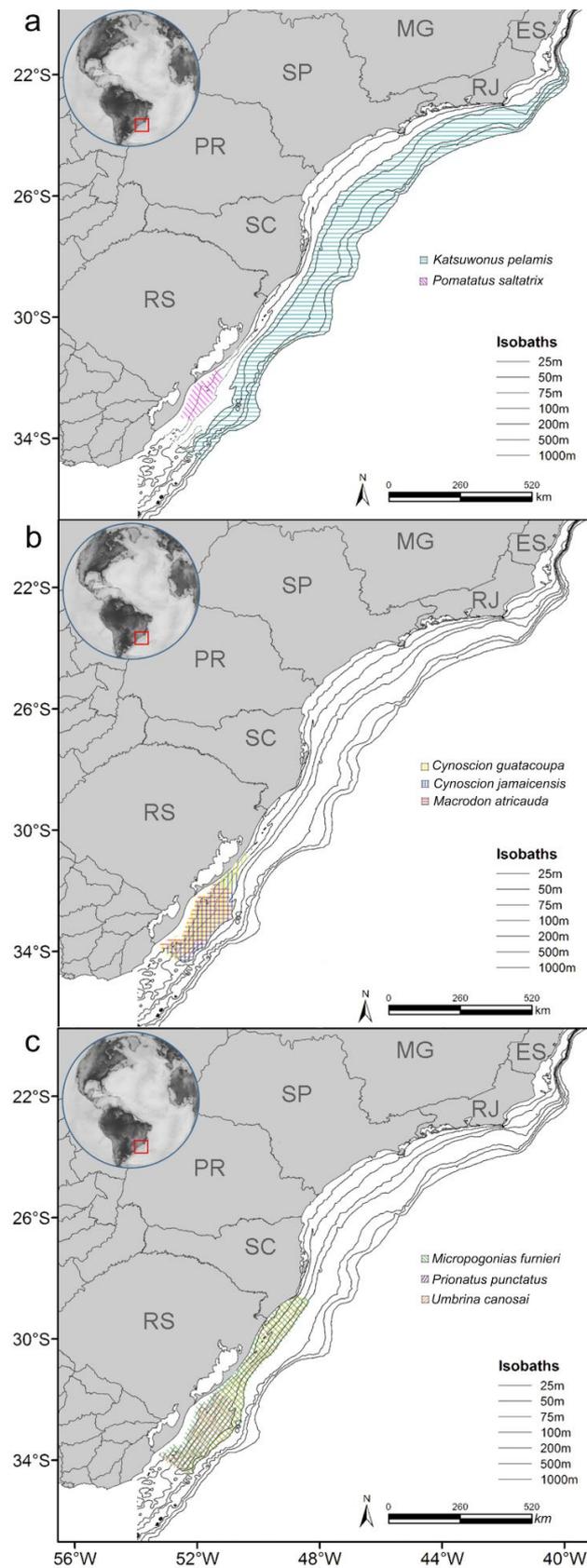


Figura 1. Regiões de amostragem no sudeste-sul do Brasil: (a) peixes pelágicos, (b) demersal-pelágicos e (c) demersais.

2.1.1 Identificação do conteúdo estomacal e classificação

Cada exemplar teve seu trato gastrointestinal retirado a partir de uma punção no ventre feita com uma tesoura cirúrgica. Os tratos extraídos foram imediatamente acondicionados em frascos de vidro limpos, contendo solução de formalina a 5%. Para evitar contaminação externa as análises dos conteúdos foram realizadas em ambiente de pouca circulação de pessoas e bancadas limpas com álcool 70%, por amostrador utilizando luvas de vinil e jaleco de algodão. Os conteúdos dos tratos gastrointestinais foram inspecionados sob microscópio estereoscópio binocular para a detecção e identificação dos plásticos ingeridos. Quando encontrados, estes foram separados do restante do conteúdo estomacal. Para descartar possível contaminação externa utilizaram-se placas de Petri controle em ambos os lados do microscópio durante a avaliação dos conteúdos. Quando algum item detectado nas placas controle era também detectado nos estômagos, estes falsos positivos eram excluídos (de acordo com Rummel et al. 2016).

O material orgânico foi identificado em nível de grandes grupos taxonômicos (Figura Suplementar 1). Além disso, os peixes foram divididos em três classes com base no habitat e na posição do aparato bucal das espécies: pelágico com boca terminal (*K. pelamis* e *P. saltatrix*), demersal-pelágico com boca oblíqua (*C. guatucupa*, *C. jamaicensis* e *M. atricauda*) e demersal com boca inferior (*U. canosai*, *M. furnieri* e *P. punctatus*) (FAO 1963, Lyman 1987, Fischer et al. 2011). Portanto, nas análises para os peixes agrupados foram consideradas estas três classes, referidas a partir deste ponto apenas como pelágicas, demersal-pelágicas e demersais.

Os itens plásticos encontrados foram caracterizados em termos de tipo (fibra, fragmento, *pellet*, isopor, copo, filme e glíter), cor e tamanho (microplástico: de 0,001 a 5 mm; mesoplásticos: 5 a 25 mm; e macroplástico: 25 a 1000 mm). Uma vez separados, os principais tipos de itens plásticos foram fotografados com um microscópio estereoscópio binocular LEICA CLS Cold-Light Source 150XD. Para identificar o polímero constituinte dos plásticos encontrados, 69 itens foram separados aleatoriamente e submetidos a uma desidratação prévia com solução alcoólica salina (75mL etanol + 75mL metanol + 10,5g brometo de sódio) e posteriormente secos em estufa a 50°C por 30 dias (Pinho & Macedo 2005). A

identificação dos polímeros foi feita através de Espectrofotometria de Infravermelho de Transformada de Fourier (FTIR) em um espectrofotômetro de massa IRPretige-21 SHIMADZU (Barbosa, 2007). Os espectros gerados foram comparados com espectros conhecidos de polímeros plásticos para classificação (Silverstein et al. 2007).

2.2 ANÁLISE DOS DADOS

2.2.1 Ocorrência de plásticos em peixes marinhos

A frequência de ocorrência (FO%) de plásticos ingeridos foi calculada com base no número total de estômagos com plástico, relacionado ao número total de estômagos amostrados das oito espécies de peixes analisadas. A abundância média foi calculada como o número médio de itens plásticos por espécie: $A_m = (M_p/n_t)$, onde A_m é a abundância média, M_p é a média do número de itens plásticos e n_t o número de indivíduos. A abundância total foi calculada como o número total de itens plásticos por espécie, e a abundância relativa foi calculada como a soma da quantidade de uma determinada categoria de item plástico (em termos de tamanho, tipo, cor e composição química, conforme seção abaixo) por espécie dividido pelo número total de itens ingeridos pela espécie. A abundância média, total e relativa foram também calculadas para os peixes agrupados nas três classes em relação ao habitat/posição do aparato bucal. Foram estimados índices ecológicos de riqueza, diversidade e equitatividade dos plásticos ingeridos pelos peixes dos diferentes agrupamentos, através da análise DIVERSE do programa PRIMER V6, considerando os tipos e as cores dos plásticos. Como as abundâncias de plásticos nos peixes apresentaram uma dominância de zeros, além de uma alta variabilidade, foram utilizadas análises não paramétricas (Anderson & Millar 2004) para avaliar possíveis diferenças na ingestão de plásticos de acordo com as classes dos peixes avaliados.

2.2.2 Características dos plásticos ingeridos: tamanho, tipo, cor e composição química

Uma análise de variância permutacional univariada (Permanova univariada) foi utilizada para comparar as abundâncias totais de plásticos ingeridos e índices ecológicos relativos a estes plásticos com os seguintes fatores: espécies (fator aleatório aninhado em habitat, oito níveis: as oito espécies analisadas) e habitat (fator fixo, três níveis: pelágico, demersal-pelágico, demersal). Para cada fator, 4999 permutações dos dados brutos foram aplicadas para obtenção da significância (Anderson 2005). A Permanova foi feita usando uma matriz de distância Euclidiana apropriada para dados biológicos (Anderson & Millar 2004) com intervalo de confiança de 95% e significância de 5%. Os resultados significativos foram avaliados através de comparações a posteriori, que também consideraram 4999 permutações aleatórias para obtenção de p-valores decorrentes da correção de Monte Carlo.

Para analisar abundância e diversidade de tipos ou cores de plásticos em conjunto foi realizada uma Permanova multivariada com os fatores habitats, considerando uma matriz de distância de Bray-curtis que é apropriada para dados ecológicos (Anderson & Millar 2004). Para a redução do efeito causado pela elavada ocorrência de zeros, foram somados valores *dummy* de um (+1) ao calcular a matriz de distância (Clarke et al. 2006). Para cada fator foram usadas 999 permutações dos resíduos sob um modelo reduzido (Anderson 2005). Os fatores significativos foram analisados em agrupamentos considerando a média do grupo para estimar quais níveis apresentavam maior similaridade no dendograma (*clusters*) como critério de ordenação entre os grupos. Estas análises foram realizadas no software Primer V6 (Clarke et al. 2001).

2.2.3 Ingestão de acordo com o tamanho do peixe

Dada a distribuição pouco ampla de tamanhos capturados para a maioria das espécies, as análises foram realizadas apenas para as que apresentaram faixas de CF/CT de mais de 25 cm (*K. pelamis*, *P. saltatrix* e *C. guatucupa*). Para estas, foi realizada uma regressão quantílica, estimando para cada espécie: i) a maior

abundância total de ingestão de plásticos; e ii) o CF/CT correspondente à maior ingestão de plásticos. Linhas de tendência (*B-splines*) de regressão quantílica (Koenker 2005) foram construídos para o quantil 95 (valor no qual se espera que apareçam 95% dos maiores valores de ingestão) usando a metodologia proposta por Anderson (2008). Os modelos foram ajustados com a função *rq* (parte do pacote *quantreg* do R, 2007) combinada com a função *bs* (pacote *splines*, Hastie 1993) no R (R Development Core Team 2018). A função *bs* é ajustável para um determinado grau de polinômio e o grau apropriado foi determinado usando a versão corrigida para pequenas amostras do Akaike Information Criteria (AICc), sendo escolhido o modelo com o menor valor de AICc entre o conjunto de modelos com polinômios de grau = 1, 2, 3, 4 ou 5. A maior taxa de ingestão para cada espécie e seus respectivos comprimentos totais foi calculada considerando o maior valor estimado para o quantil 95 ($\hat{Q}^{95\max}$). Posteriormente, foram contruídos intervalos de confiança de 95% reuplicando 10000 randomizações dos maiores valores estimados de ingestão em torno do comprimento máximo de ingestão (Miller 2018).

3. RESULTADOS

3.1 Ocorrência de ingestão de plástico em peixes marinhos

Entre os 964 indivíduos analisados, 242 eram pelágicos, 364 demersal-pelágicos e 358 demersais. Dentre todos os peixes, foram encontrados 210 itens plásticos, sendo 110 encontrados em espécies pelágicas (52,4%), 56 em espécies demersal-pelágicas (26,7%) e 44 em espécies demersais (20,9%) (Tabela 1). A frequência de ocorrência de plásticos foi 13,9% em todos os peixes analisados, com variação de 5,0 a 25,8% entre as diferentes espécies. Houve maior FO% de plásticos em peixes pelágicos (média 22,7%), com máxima ingestão por *K. pelamis* (25,8%). As FO% de peixes demersal-pelágicos e demersais foi semelhante, de em média 11,5% e 10,3%, respectivamente, e a menor ingestão sendo registrada para *P. punctatus* (5%) (Tabela 1).

Tabela 1. Espécies de peixes marinhos avaliadas neste estudo, com faixa de tamanho (comprimento furcal/total CF/CT, min-max em cm, média \pm DP), número de peixes analisados (NP), número de peixes com plásticos (NPP), frequência de ocorrência de plásticos (FO%), número total de plásticos encontrados para cada espécie (TP) e número médio de plásticos por indivíduo (média NP \pm SD).

Habitat	Espécies	CF*/CT (min-max)	NP	NPP	FO%	TP	Média NP
Pelágico	<i>K. pelamis</i> *	42,0-70,0 (50,4 \pm 5,7)	120	31	25,8	78	1,65 \pm 1,2
	<i>P. saltatrix</i>	28,5-52,2 (39,6 \pm 3,2)	122	24	19,7	32	1,18 \pm 0,6
	Total	28,5-70,0 (45,1 \pm 6,9)	242	55	22,7	110	0,45 \pm 1,0
Demersal-pelágico	<i>C. guatucupa</i>	14,3-57,4 (30,7 \pm 9,4)	124	13	10,5	14	0,23 \pm 0,6
	<i>C. jamaicensis</i>	19,8-28,3 (24,2 \pm 1,8)	120	13	10,8	22	0,18 \pm 0,6
	<i>M. atricauda</i>	15,3-31,8 (23,8 \pm 2,1)	121	16	13,3	20	1,17 \pm 0,4
	Total	14,3-57,4 (26,3 \pm 6,6)	365	42	11,5	56	0,15 \pm 0,4
Demersal	<i>U. canosai</i>	19,1-28,2 (23,1 \pm 1,7)	120	16	13,3	22	1,18 \pm 0,5
	<i>M. furnieri</i>	19,7-37,1 (28,0 \pm 3,3)	118	15	12,7	15	0,13 \pm 0,3
	<i>P. punctatus</i>	17,5-31,4 (24,3 \pm 2,5)	120	6	5,0	7	0,06 \pm 0,2
	Total	17,5-37,1 (25,0 \pm 3,1)	360	37	10,3	44	0,12 \pm 0,4

Considerando as espécies, a maior abundância total e média de plásticos ingeridos foi observada para o *K. pelamis* (78 itens, 1,65 \pm 1,18 itens/indivíduo), seguida por *P. saltatrix* (38 itens, 1,18 \pm 0,56 itens/indivíduo), com a menor para *P. punctatus* (7 itens, 0,06 \pm 0,00 itens/indivíduo). Ao comparar a abundância total de plásticos ingeridos por espécie dentro de cada habitat, foi observado que no pelágico *K. pelamis* apresentou abundância total significativamente maior do que *P. saltatrix* ($p = 0,004$), e no habitat demersal *U. canosai* apresentou uma abundância significativamente maior que *P. punctatus* ($p = 0,02$), enquanto não foi verificada diferença significativa no habitat demersal-pelágico. No habitat pelágico foi observada a maior abundância média de plásticos por indivíduo (pelágico: 0,45 \pm 1,05, demersal-pelágico: 0,15 \pm 0,49; demersal: 0,12 \pm 0,40), com diferença significativa na abundância total de plásticos ingeridos entre os habitats (Pseudo-F = 4,443, $p = 0,02$).

3.2 Características dos plásticos ingeridos: tamanho, tipo, cor e composição polimérica

Foram encontrados plásticos com tamanhos variando de 0,1 mm a 135 mm. Em termos de classe de tamanho, os microplásticos foram mais abundantes, com 196 itens (abundância relativa: 93,3%). Foram encontrados também quatro mesoplásticos (1,9%) e 10 macrolásticos (4,7%). Os peixes pelágicos ingeriram microplásticos (90%), mesoplásticos (0,9%) e macrolásticos (9,1%), enquanto os demersal-pelágicos ingeriram microplásticos (94,6%) e mesoplásticos (5,3%) e os demersais, apenas microplásticos (Figura 2a). O mesmo padrão foi observado para as frequências de ocorrência, com os peixes do habitat pelágico apresentando FO% = 89,1% de microplásticos, 1,4% de mesoplásticos e 9,5% de macrolásticos; os demersal-pelágicos FO% = 93,7% de microplástico e 6,3% de mesoplásticos, e os demersais FO% = 100% de microplásticos. *K. pelamis* e *P. saltatrix* ingeriram os maiores tamanhos de plásticos, correspondendo a macrolásticos de 63 a 135 mm.

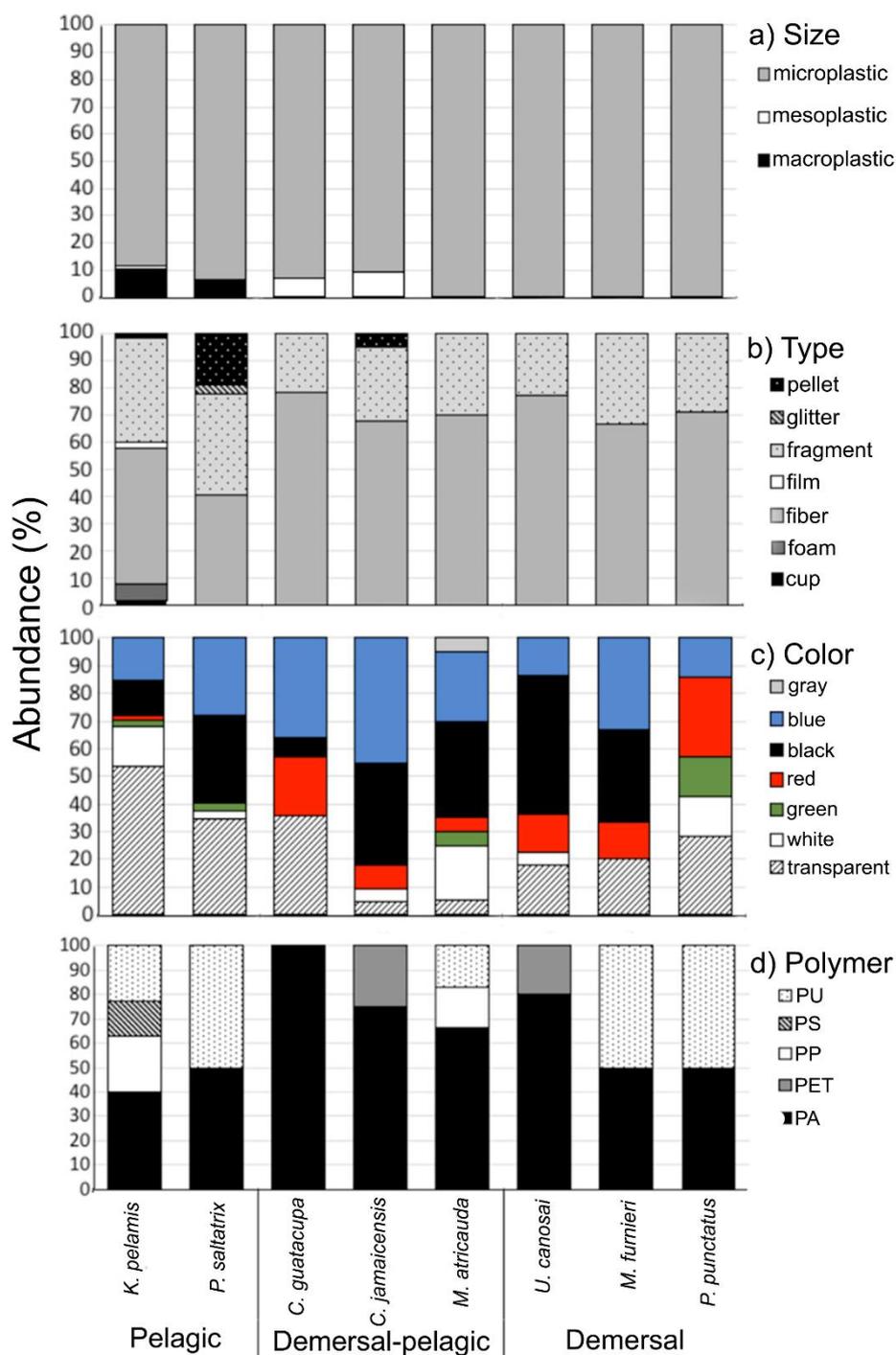


Figura 2. Abundância relativa (%) dos diferentes (a) tamanhos, (b) tipos, (c) cores e (d) composição polimérica dos plásticos ingeridos por cada espécie de peixe marinho.

Dos plásticos identificados, 124 foram fibras (59%), 69 fragmentos (32,9%), oito *pellets* (3,8%), cinco isopores (2,4%), dois fragmentos de filme (1%), um fragmento de copo (0,5%) e um glíter (0,5%) (Figura 3). As fibras apresentaram uma

abundância $\geq 40\%$ em todas as espécies e houve variação na abundância relativa dos tipos de plástico por espécie dentro de cada habitat (Figura 2b). Considerando a abundância das categorias de tipos de plásticos encontrados, foram observadas diferenças significativas entre os habitats (Pseudo-F = 4,327, $p = 0,023$). A análise de *cluster* demonstrou uma maior diferença entre habitat o pelágico e os outros dois habitats considerando a abundância de tipos de plásticos (Figura S1a). Além de abundantes, os tipos mais frequentes de plásticos foram fibras (FO% = 9,6) e fragmentos plásticos variados (FO% = 5,1). No habitat pelágico, fibras apresentaram FO% = 13,6% e fragmentos FO% = 10,7%. No habitat demersal-pelágico a FO% foi 9,3% para fibras e 3,3% para fragmentos, e no habitat demersal 7,3% para fibras e 3,1% para fragmentos. A diversidade, riqueza e equitatividade de tipos de plásticos foi significativamente diferente entre habitats (Pseudo-F de respectivamente 3,2, 7,3 e 3,1; $p < 0,05$), com maiores índices em peixes pelágicos, seguidos pelos demersal-pelágicos e demersais (Tabela 2).

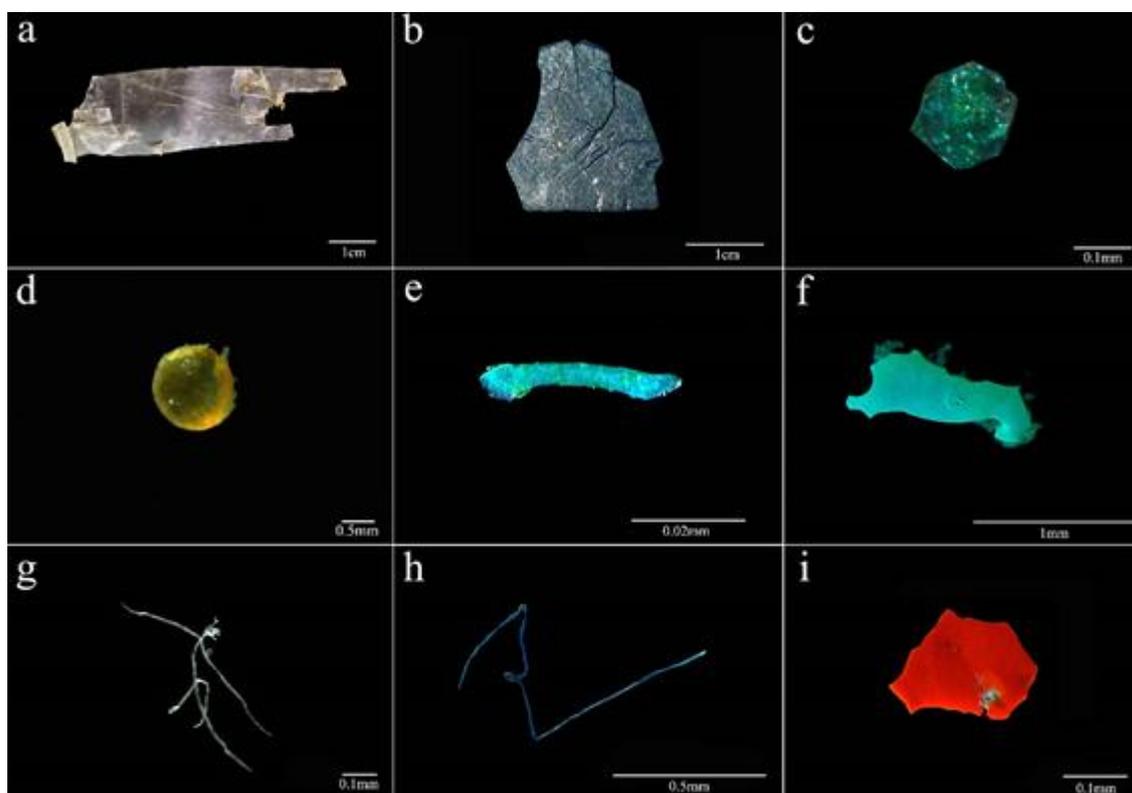


Figura 3. Exemplos de tipos e cores de plásticos encontrados em peixes marinhos brasileiros: a) fragmento de um copo transparente (*K. pelamis*); b) fragmento duro azul (*K. pelamis*); c) gliter verde (*P. saltatrix*); d) sedimento amarelado com biofilme (*P. saltatrix*); e) linha azul

com biofilme (*C. guatucupa*); f) fragmento verde com biofilme (*M. atricauda*); g) fibras transparentes (*U. canosai*); h) fibra azul (*U. canosai*); i) fragmento duro vermelho (*M. furnieri*).

Em termos de cores dos plásticos, foram observados 69 itens transparentes (abundância relativa: 32,9%), 52 pretos (24,8%), 50 azuis (23,8%), 19 brancos (9,0%), 14 vermelhos (6,7%), cinco verdes (2,4%) e um cinza (0,5%) (Figura 2c). Nas espécies pelágicas a maior abundância relativa de cores ingeridas foi o transparente, com FO% = 10,3%, azul com FO% = 7%, e preto com FO% = 6,6%. Nas demersal-pelágicas a maior abundância foi de azul, preto e transparente, com FO% respectivamente de 4,4%, 2,5% e 2,5%. Nas demersais as maiores abundâncias foram de plásticos pretos, azuis e transparentes, com FO% respectivamente de 3,6%, 2,5% e 2,5%. Verificou-se diferença significativa de riqueza de cores entre os habitats (PseudoF = 6,817, p = 0,02), mas não houve diferença significativa na diversidade e equitatividade de cores entre as espécies dos diferentes habitats (Tabela 2). Considerando a abundância e as subcategorias de todas as cores de plásticos, foi encontrada diferença significativa entre os habitats (Pseudo-F = 4,046, p = 0,024), evidenciada pela análise de *cluster* que indicou maior diferença entre as abundâncias das cores de plásticos entre o habitat pelágico e os outros dois habitats (Figura S1b, Tabela S2).

Tabela 3. Categorias dos plásticos (cor e tipo) ingeridos por peixes de acordo com o habitat (pelágico, demersal-pelágico e demersal) e índices ecológicos (H, S e J) (valor de p, DP).

Categoria de Plástico	Habitat (N)	Índices Ecológicos		
		H	S	J
Tipo	Pelágico (242)	0,03 ± 0,14	0,28 ± 0,55	0,0002 ± 0,25
	Demersal-pelágico (364)	0,009 ± 0,07	0,13 ± 0,37	0,01 ± 0,11
	Demersal (358)	0	0,10 ± 0,30	0
Cor	Pelágico (242)	0,03 ± 0,15	0,28 ± 0,56	0,05 ± 0,20
	Demersal-pelágico (364)	0,01 ± 0,09	0,11 ± 0,35	0,01 ± 0,11
	Demersal (358)	0,01 ± 0,07	0,11 ± 0,35	0,01 ± 0,10

Dos 69 itens plásticos avaliados em termos de composição química, 36 eram poliamida (PA, abundância relativa: 52,1%), 17 poliuretano (PU, 25%), nove polipropileno (PP, 13%), cinco poliestireno (PS, 7%) e dois polietileno tereftalato (PET, 2,9%). Os peixes pelágicos apresentaram abundâncias de ingestão de 41% de PA, 28% de PU, 19% de PP e 12% de PS, enquanto os demersal-pelágicos apresentaram abundâncias de 77% de PA, 8% de PU e PP e 7% de PET e os demersais 61% de PA, 31% de PU e 8% de PET. Para todas as espécies o tipo predominante de plástico foi o PA, representando mais de 30% da abundância. Nas espécies pelágicas, assim como na maioria das demersais, houve também uma grande abundância de PU (> 20%); outros plásticos foram encontrados em menores abundâncias (Figura 2d, Tabela Suplementar S1).

3.3 Ingestão de plástico de acordo com o tamanho do peixe

As regressões quantílicas mostraram a ingestão de itens plásticos ao longo de toda a faixa de tamanhos das três espécies avaliadas (*K. pelamis*, *P. saltatrix* e *C. guatucupa*). Em *K. pelamis* e *P. saltatrix* as ingestões alcançaram seus máximos estimados de $\hat{Q}^{95}_{\max} \cong 5$ itens e $\hat{Q}^{95}_{\max} \cong 2$ itens em comprimentos de 53 e 41.7 cm, respectivamente. Os modelos escolhidos para estas duas espécies foram de polinômio 3 e a presença de plásticos em todas as faixas de comprimento levou a uma baixa curtose destes modelos. O modelo escolhido para a espécie *C. guatucupa* foi de polinômio 1, significando que todos os CF/CTs amostrados apresentaram ingestão estimada de $\hat{Q}^{95}_{\max} \cong 1$ item (Figura 4). Os tamanhos estimados, graus dos polinômios, valores de AIC para os modelos e intervalos de confiança para todas as espécies (incluindo aquelas com distribuição de comprimentos pouco ampla) estão disponíveis na Tabela Suplementar S2 e Figura Suplementar S2.

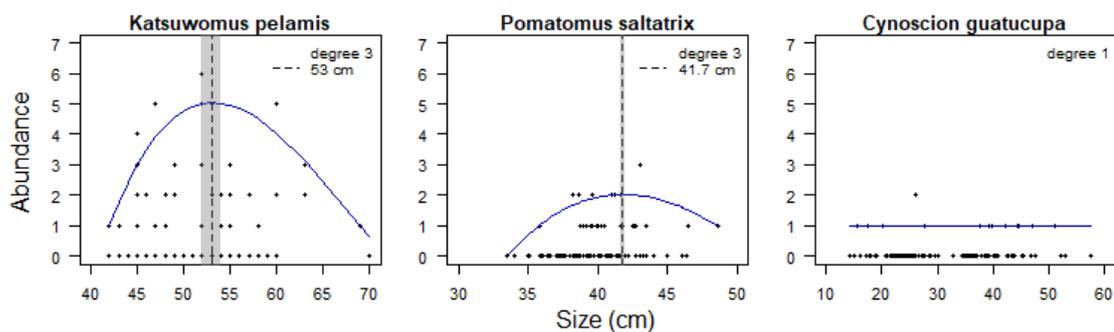


Figura 4. Regressão quantílica (linha sólida azul) entre a abundância de plásticos ingeridos e o comprimento furcal/total de (a) *K. pelamis*, (b) *P. saltatrix* e (c) *C. guatucupa*. Linhas tracejadas mostram os tamanhos estimados em que ocorre a maior ingestão; barras cinzas são os intervalos de confiança. O melhor grau polinomial ajustado é dado no canto superior direito.

4. DISCUSSÃO

4.1. Ocorrência de ingestão de plásticos por peixes marinhos

O presente estudo encontrou plásticos, de diversos tipos, cores e tamanhos, nos tratos gastrointestinais das oito espécies amostradas na região sudeste-sul do Brasil, com frequências de ocorrência (FO%) de ingestão variando de 5 a quase 26%. Dentro do cenário mundial de ingestão de plásticos por este grupo de animais, em que estima-se que aproximadamente 24,8 milhões de toneladas de peixes tenham ingerido pelo menos um item plástico (Wieczorek et al. 2018), demonstramos que peixes comercialmente explorados no Atlântico Sul Ocidental também sofrem os impactos da poluição plástica pela ingestão destes materiais. Os peixes pelágicos (*K. pelamis* e *P. saltatrix*) e demersal-pelágicos (*C. guatucupa* e *C. jamaicensis*) ingeriram plásticos de forma mais frequente e em maior quantidade do que os peixes demersais (*U. canosai*, *M. furnieri* e *P. punctatus*), embora a abundância relativa de plásticos em relação aos itens regulares de alimentação tenha sido baixa para todas as espécies (menos de 4%), o que pode indicar possibilidade de ausência de maior impacto físico dos plásticos nos animais. A frequência de peixes com plásticos em seus tratos (em média 13,9%) foi um pouco superior à observada para o *M. aeglefinus* e *M. merlangus* no Mar do Norte (6%; Foekema et al. 2013) e um pouco

inferior à encontrada para o *T. lyra* na região costeira de Portugal (19%; Neves et al. 2015). Isto demonstra que os recursos pesqueiros no Atlântico Sul apresentam taxas de ingestão de plásticos relativamente semelhantes a outros locais, possivelmente devido à intensa atividade pesqueira na região.

Os peixes pelágicos analisados neste estudo apresentaram FO% de plásticos ingeridos (22,7%) inferior àquela observada em espécies pelágicas do Oceano Pacífico Norte (43% em *Lampris* sp.; Boerger et al. 2010), do Oceano Índico (37,5% em *Stolephorus commersonii*; Kripa et al. 2014) e do Mediterrâneo (58% em *Sciaena umbra*; Güven et al. 2017). Para a baía de Tóquio verificou-se uma FO% de 77% na espécie pelágica *Engraulis japonicus* (Tanaka 2016). Esta menor ingestão por peixes pelágicos na costa brasileira pode ser causada por diferenças nas guildas tróficas dos peixes ou a uma menor disponibilidade de plásticos no ambiente, uma vez que os Oceanos Pacífico e Índico apresentam elevadas concentrações deste material (van Sebille et al. 2015). No entanto, pouco se conhece quanto à concentração de plásticos em águas Atlântico Sul, sendo necessário compreender melhor esta disponibilidade para avaliar se pode ter influenciado as frequências de ingestão.

As espécies demersais apresentaram baixa FO% (10,3%) de ingestão de plásticos, porém com valores maiores do que os encontrados para três espécies do Mar Jônico (1,1%, em *Citharus linguatula*, *Mullus barbatus* e *Pagellus erithrinus*; Torre et al. 2016) uma espécie do Mar do Norte (5,4% em *Limanda limanda*; Rummel et al. 2016) e uma espécie do Mar Mediterrâneo (6% em *Melanogrammus aeglefinus*; Foekema et al. 2013). Diferentemente de Lusher et al. (2013), neste estudo observou-se diferença significativa na abundância de plásticos ingeridos pelas espécies pelágicas, demersal-pelágicas e demersais, sendo maior nas espécies pelágicas. Espécies pelágicas podem se alimentar em diferentes estratos de profundidade (pelágico e demersal) (Castello & Habiaga 1989, Haimovici & Miranda 2005) e consequentemente terem maior probabilidade de encontrar e ingerir plásticos. Além disso, embora peixes pelágicos tenham estratégia alimentar geralmente especialista, são predadores ativos que consomem grandes quantidades de presas para suprir sua alta demanda energética (Gerking 1994), consequentemente ingerindo também maiores quantidades de plásticos. Por outro lado, peixes demersais

geralmente apresentam menor tamanho e demanda energética (Gerking 1994), levando a uma menor ingestão de itens plásticos. No entanto, é possível que a ingestão de plásticos em peixes demersais tenha sido subestimada devido ao método de detecção visual, uma vez que estes peixes podem estar consumindo plásticos de pequenos tamanhos devido aos seus menores aparatos bucais, assim como devido à presença de maiores quantidades de micro e nanoplásticos no fundo marinho (Lusher 2015).

4.2 Características dos plásticos ingeridos: tamanho, tipo, cor e composição polimérica

Em termos de tamanho de plásticos ingeridos, a faixa mais comum encontrada foram os microplásticos (88,1%), seguido de meso (7,2%) e macroplásticos (4,6%). Somente os peixes pelágicos apresentaram ingestão de macroplásticos e, junto aos demersal-pelágicos, mesoplásticos em seus tratos gastrointestinais. Trabalhos prévios apresentam diferentes faixas de tamanhos de plásticos ingeridos: de 0,13 a 14,3 mm e 0,09 a 16,2 mm em peixes pelágicos do no Atlântico Norte (Lusher et al. 2013) e Mar Jônico (Torre et al. 2016) respectivamente, e de 0,1 a 2,5 mm em peixes demersais, pelágicos e demersal-pelágicos do Mar Mediterrâneo (Güven et al. 2017). No Atlântico Norte foi observada faixa de ingestão de 0,1 a 15 mm em peixes demersais e pelágicos, com predominância de microplásticos (47%) (Murphy et al. 2017). Esta predominância geral de microplásticos na ingestão pode ser explicada pela maior abundância numérica desta classe de tamanho de plásticos no ambiente marinho (Lusher 2015), levando a uma maior probabilidade de ingestão. Além disso, partículas de menor tamanho podem ser mais facilmente ingeridas por diferentes espécies, com aparatos bucais de tamanho e posicionamento distintos. De fato, estudos de morfometria em peixes atribuem o tamanho das presas ao tamanho do aparato bucal. Segundo Deudero & Alomar (2014), peixes do ambiente pelágico podem ingerir plásticos de maior tamanho com mais frequência devido ao seu maior aparato bucal e não à preferência por alguma presa. Isso poderia explicar a maior quantidade de itens

macroplásticos e mesoplásticos entre os pelágicos e demersal-pelágicos em relação aos demersais.

A caracterização dos tipos de plásticos pode contribuir para entender suas possíveis origens e usos. Neste trabalho, encontramos principalmente fios, fragmentos e *pellets* nos tratos dos peixes analisados; parte dos fios e fragmentos foram atribuídos a materiais de pesca como redes e cordas. Este padrão se assemelha a outros lugares do mundo: em peixes comerciais (*Scyliorhinus canícula*, *Merluccius merluccius* e *Mullus barbatus*) do Mediterrâneo, fibras foram dominantes (71%), com menores proporções de *pellets*, filmes e fragmentos (Bellas et al. 2016). No Canal Inglês foi identificada a ingestão de plástico por 2.9% dos peixes (5 de 23 espécies; n = 347), consistindo 83% de fibras e 17% de fragmentos (Steer et al. 2017). No Golfo do Texas, houve ocorrência de ingestão de 42,4% de microplásticos por peixes, incluindo fibras (86,4%) e em menor proporção *pellets* e fragmentos (Peters et al. 2017). A corvina do Atlântico também já foi reportada a ingerir elevada frequência de microplásticos (45,2%), predominantemente fibras (83,5%) (Peters et al. 2017). Os *pellets* foram o terceiro tipo de plástico ingerido mais abundante, sendo encontrados em todas as espécies avaliadas neste estudo. Estas partículas de microplástico primário se assemelham a itens de dieta consumidos pelas espécies analisadas, como por exemplo ovos de peixes. Adicionalmente, os organismos que compõe o biofilme na superfície dos pellets (bem como das outras partículas plásticas) atuam como um atrativo para ingestão desses materiais (Amaral-Zettler et al. 2015). Por isso, sugere-se que a ingestão dessas partículas possa ser intencional.

As cores transparente, preto ou azul foram as mais abundantes nos tratos digestivos das oito espécies avaliadas, que correspondem às cores mais comuns encontradas em petrechos de pesca como redes, malhas e cordas, assim como em caixas de armazenamento; este padrão também foi observado por Ory et al. (2017) no Chile. Sinais visuais como cor e forma dos plásticos podem contribuir para a sua ingestão intencional (Sacova et al. 2017). Por isso, é possível que os peixes pelágicos tenham ingerido intencionalmente os itens do ambiente, uma vez que se alimentam também em águas transparentes onde presas são facilmente identificadas visualmente (Walls 1963, McNicol et al. 1984). De fato, *K. pelamis* e *P. saltatrix* ingeriram predominantemente itens transparentes, com alta reflectância e detecção em águas

claras, possivelmente de forma intencional uma vez que sua visão permite enxergar os plásticos (Walls 1963, McNicol 1989). Em peixes demersal-pelágicos e demersais, que podem se alimentar em regiões mais profundas e turvas, a ingestão é provavelmente acidental uma vez que a visão é secundária diante de outros sentidos como o olfato (Sacova et al. 2017). Peixes costeiros de águas eutróficas são tipicamente sensíveis a comprimentos de onda mais longos (Marshall et al. 2003, Perry et al. 2013), com detecção de comprimentos de onda de 400-610 nm que pode favorecer a percepção e ingestão intencional de itens azuis, pretos e brancos por *C. guatucupa*, *C. jamaicensis*, *M. atricauda*, *U. canosai* e *M. furnieri*. Por outro lado, a profundidade e turbidez, poderiam mascarar itens plásticos de cores de comprimento de onda mais curtos como vermelho e transparente, que podem ter sido ingeridos acidentalmente na sua alimentação.

Existe alta variabilidade na abundância de cores dos itens plásticos ingeridos por peixes: no Canal Inglês foi observada a predominância das cores preta (42%) e azul (34%) (Lusher et al. 2013); no nordeste do Atlântico foram observadas as cores claras (21,9%), azul (13,2%) e vermelho (11,4%) (Murphy et al. 2017); no mar da China observou-se nove cores de plásticos, sendo transparentes, pretos e azuis os mais abundantes (Jabeen et al. 2016). Santos et al. (2016) hipotetizam que os animais marinhos que percebem plástico flutuante de cima para baixo selecionam fragmentos de plástico que estejam refletindo cores claras, e os que percebem os plásticos de baixo para cima preferencialmente ingerem fragmentos escuros, seguindo a lei de Thayer em que itens alimentares de dorso escuro e ventre claro estariam “camuflados” no oceano. No entanto, isso pode também estar relacionado aos espectros de luz detectados pelas diferentes espécies assim como pela disponibilidade das cores de plástico no ambiente; estudos relacionando estes fatores são necessários para esclarecer esta possível seleção.

Quanto ao tipo de polímero, verificou-se que foram ingeridos principalmente itens compostos por poliamida (PA) e poliuretano (PU), amplamente usados nas atividades pesqueiras; isto corrobora que parte dos itens ingeridos pelos peixes foram provenientes de material de pesca. A PA é um polímero muito utilizado para síntese de fibras de nylon, além de ser amplamente utilizado em fibras têxteis e que apresentam, geralmente, baixa densidade ficando por mais tempo na coluna d’água

(Challa 1993). Entretanto, a ação de ondas e ventos pode alterar suas propriedades químicas, levando à perda de flutuabilidade e possível decantação. O PU pode ser usado para fabricar uma ampla gama de produtos plásticos, desde flexíveis a rígidos, e foi identificado em diversos fragmentos, *pellets* e glíter neste trabalho. Os itens identificados como polipropileno (PP) foram fragmentos, fragmento de copo descartável e um filme, possivelmente associados a materiais de uso único como o copo plástico e o filme de embalagem. O poliestireno (PS) é utilizado principalmente em isolantes, isopor e espuma (Pagnucci 2011), sendo observado em isopores neste trabalho. Foram encontrados também fragmentos de politereftalato de etileno (PET), que pode ser aplicado na síntese de fibras têxteis e filmes (MacDonald 2002). Estes polímeros apresentam resistência à degradação térmica no ambiente, podendo estar disponíveis à fauna aquática por longos períodos.

Em estômagos de peixes do Mar do Norte e Báltico (*L. limanda*, *P. flesus*, *G. morhua*, *C. harengus* e *S. scombrus*), PE foi o polímero mais comum, seguido por PA e PP (Rummel et al. 2016, Collard et al. 2017). No nordeste do Atlântico foi encontrada maior abundância de PA, PET e acrílico, em peixes pelágicos e demersais (Murphy et al. 2017). Em peixes no mar da China, foram identificados os polímeros celofane, PET e PE (Jabeen et al. 2017). Polímeros como nylon, poliamida, poliéster e tereftalato de polietileno comumente representam os resíduos resultantes das atividades de pesca e tem sido crescentemente encontrado nos oceanos em habitats que são alvo das atividades de pesca comercial (Pham et al. 2014). Esses itens foram comuns nas amostras de plásticos ingeridas por peixes avaliadas no presente estudo. O entendimento do tamanho, tipo, cor e composição química de plásticos ingeridos por animais marinhos contribui para uma melhor compreensão da sua origem e possíveis causas de ingestão, conseqüentemente auxiliando a traçar estratégias de prevenção deste problema.

4.3. Ingestão de acordo com o tamanho do peixe

Nas espécies em que foi possível avaliar a ingestão de plásticos por tamanho do indivíduo, não foi observada relação linear positiva. *K. pelamis* e *P. saltatrix* apresentaram uma relação parabólica, a partir da qual foi possível determinar o

comprimento total de máxima ingestão, enquanto *C. guatucupa* apresentou ingestão constante, independente do tamanho. Isso pode estar relacionado ao fato das espécies do estudo terem sido obtidas por amostragens oportunistas a partir do desembarque de navios de pesca industrial, sem seleção de diferentes faixas de tamanho. Diante disso, é reconhecida a necessidade de novos estudos que permitam melhor compreensão das relações de ingestão de plástico por peixes de diferentes tamanhos. Em estuários do nordeste brasileiro, a ingestão de plásticos por nove espécies de peixes também não foi relacionada ao tamanho (Possatto et al. 2011). O mesmo foi observado no Mar Mediterrâneo, onde não houve correlação entre o tamanho do elasmobrânquio *Galeus melastomus* e o número de plásticos ingeridos (Alomar et al. 2017). No entanto, encontrou-se uma maior ocorrência de plásticos em peixes adultos (100%) maiores em relação a seus estágios juvenil (64%) e subadulto (50%) no estuário de Goiana, Recife, Brasil (Ferreira et al. 2016). Isso foi atribuído à influência das variáveis ambientais e da sazonalidade sobre a distribuição das assembleias de peixes estuarinos (Blaber et al. 1989, Barletta et al. 2008), além da posição trófica da espécie como predador de topo, o que requer maior quantidade de biomassa ingerida para suprir sua demanda energética. A ingestão de presas contaminadas por plásticos favoreceria a biotransferência para o indivíduo adulto, os tornando mais susceptíveis à contaminação. Para verificar de forma mais confiável a relação entre tamanho corporal e ingestão de plásticos, futuros estudos devem avaliar faixas de tamanho mais amplas; de toda forma, é possível observar que a problemática da ingestão de plásticos, seja de maneira acidental ou intencional, afeta peixes em diferentes fases do seu ciclo de vida.

5. CONCLUSÕES

O crescente aumento de plásticos nos oceanos contribui para que ocorram interações negativas entre estes resíduos e a biota marinha, incluindo a ingestão por espécies de peixes que são importantes recursos pesqueiros. As oito espécies comercialmente exploradas avaliadas neste estudo ingeriram plásticos, com *K. pelamis* apresentando maior abundância, diversidade e tamanhos de itens ingeridos. Foi observada a relação entre o habitat e a ingestão de plástico, com peixes pelágicos

apresentando maior frequência de ocorrência, abundância total e diversidade de itens ingeridos do que peixes demersal-pelágicos e demersais. Os microplásticos predominaram em todas espécies, e fibras e fragmentos foram os principais itens encontrados, possivelmente provenientes de materiais de pesca perdidos, abandonados ou descartados. As cores mais abundantes dos plásticos foram transparente, preto e azul, o que pode indicar uma maior disponibilidade no mar ou uma seleção preferencial no ambiente aquático. O polímero mais abundante foi poliamida, seguida por poliuretano, amplamente usados na fabricação de diversos produtos de uso comum. Não foi verificada relação linear entre o tamanho dos indivíduos com a ingestão de plástico por espécie, o que pode sugerir que os plásticos afetam todas espécies indiferentemente do tamanho, uma vez que a maioria dos itens foram microplásticos e poderiam ser ingeridos acidentalmente por peixes de qualquer tamanho.

Considerando os impactos negativos da ingestão de plásticos para os peixes marinhos, e potencialmente para a saúde humana devido ao seu consumo, compreender os padrões de ingestão de plásticos é fundamental para identificar as origens do material ingerido e conseqüentemente auxiliar na definição de medidas para a prevenção desse impacto no ambiente marinho. Além disso, é preciso melhor entender os impactos do esforço pesqueiro em termos do aumento da taxa de mortalidade em consequência do aumento da ingestão de plástico derivado de materiais de pesca. A implementação eficiente da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS 2010), juntamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis da Organização das Nações Unidas e uma economia circular para os plásticos, é importante para garantir essa prevenção. Por fim, esta gestão deve contemplar a dinâmica de dispersão transfronteiriça dos plásticos, uma vez que este poluente pode ultrapassar limites municipais, estaduais ou nacionais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alomar C, Suredab A, Capó X, Guijarro B, Tejada S, Deudero S (2017) Microplastic ingestion by *Mullus surmuletus* Linnaeus, 1758 fish and its potential for causing oxidative stress. Environ Res 159: 135-142.

Alomar C, Deudero S (2017) Evidence of microplastic ingestion in the shark *Galeus melastomus* Rafinesque, 1810 in the continental shelf off the western Mediterranean Sea. *Environ Pollut* 223: 223-229.

Amaral-Zettler LA Zettler, Erik R, Slikas B, Boyd GD, Melvin DW, Morrall CE, Proskurowski G, Mincer TJ, Zettler ER, Slikas B, Boyd GD, Melvin DW, Morrall CE, Proskurowski G, Mincer TJ (2015) The biogeography of the Plastisphere: implications for policy. *Front Ecol Environ* 13: 541-546.

Anderson MJ (2005) PERMANOVA. *Permutational multivariate analysis of variance a computer program*. Department of statistic, University of Auckland. <https://pdfs.semanticscholar.org/4d0c/430f6129b427e48fb407e59ac79ee29b4cae.pdf>

Anderson MJ & Millar RB (2004) Spatial variation and effects of habitat on temperate reef fish assemblages in northeastern New Zealand. *J Exp Mar Biol Ecol* 305: 191-221.

Anderson C (2008) *The long tail: Why the future of business is selling less of more*. Hyperion, NY, p 127-139.

Andrade MC, Kirk O, Winemiller P, Barbosa S, Fortunati A, Chelazzi D, Cincinelli A, Giarrizzo T (2019) First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. *Environ Pollut* 244: 766-773.

Barbosa LC (2007) Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos, UFV. *Biol Diver*, p 50-65.

Barletta M, Amaral CS, Correa MFM, Guebert F, Dantas DV, Lorenzi L, and Saint-Paul, U (2008) Factors affecting seasonal variations in demersal fish assemblages at an ecocline in a tropical\subtropical estuary. *J Fish Biol* 73: 1315-1336.

Beaumont NJ, Aanesen M, Austen MC, Borger T, Clark JR, Cole M, Hooper T, Lindeque PK, Pascoe C, Wyles KJ (2019) Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Mar Pollut Bull* 142: 189-195.

Bellas J, Martínez-Armental J, Besada V, Martínez-Cámara A (2016) Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Mar Pollut Bull* 109: 55-60.

- Blaber SJM, Brewer DT, Salini JP (1989). Species composition and biomasses of fishes in different habitats of a tropical northern Australian estuary: their occurrence in the adjoining sea and estuarine dependence. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 29: 509-531.
- Boerger CM, Gwendolyn L, Lattin S, Moore L, Moore CJ (2010) Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Mar Pollut Bull* 60: 2275-2278.
- Cannon S, Jennifer ME, Lavers L, Figueiredo B (2016) Plastic ingestion by fish in the Southern Hemisphere: A baseline study and review of methods. *Mar Pollut Bull* 170: 286-291.
- Cardoso LG, Haimovici M (2016) Density-dependent changes in the feeding behaviour of *Macrodon atricauda* of southern Brazil. *Jour F Biol* 1-7.
- Carpenter E, Susan J, Anderson J, George R, Harvey H, Miklas P, Bradford BP (1975) Polystyrene Spherules in Coastal Waters. *Science* 175: 1240.
- Carson HS (2014) The incidence of plastic ingestion by fishes: From the prey's perspective. *Mar Pollut Bull* 74: 170-174.
- Castello JP & Habiaga RP (1989) The skipjack fishery in southern Brazil. *ICCAT Coll Vol Sci Pps* 30: 6-9.
- Challa G (1993) *Polymer Chemistry - An Introduction*, Ellis Horwood: London. p 40-45.
- Clarke KR, Somerfield PJ, Airoidi L, Warwick RM (2006) Exploring interactions by second-stage community analyses coastal Waters. *J Exp Mar Biol Ecol* 338: 179-192.
- Collard F, Bernard G, Gauthier E, Laetitia R, Compère P, Krishna D, Parmentier E (2017) Morphology of the filtration apparatus of three planktivorous fishes and relation with ingested anthropogenic particles. *Mar Pollut Bull* 116:182-191.
- Deudero S & Alomar C (2014) Revising interactions of plastics with marine biota: evidence from the Mediterranean Marine Litter in the Mediterranean and black seas. Tirana, Albania, CIESM, 46: p 180.

FAO (1963) Fisheries and Aquaculture Department. Sinopsis sobre la biología del bonito de vientre rayado *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus 1758, Océano Pacífico). Species Synopsis No, 22, FAO Fisheries Biology Synopsis No, 65. <http://www.fao.org/3/ap892e/ap892e.pdf>. (acesso 16 Jan 2019)

Ferreira GVB, Barletta M, Lima ARA, Dantas DV, Justino AKS, Costa MF (2016) Plastic debris contamination in the life cycle of Acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*) in a tropical estuary. *J M Scien* 73(10): 2695-2707.

Fischer LG, Pereira LED, Vieira JP (2011) Peixes estuarinos e costeiros. 2 ed. Rio Grande, Pallotti. p 14-87.

Foekema EM, Gruijter CD, Mergia MT, Franeker JAV, Murk ATJ, Koelmans AA (2013) Plastic in north sea fish. *Mar Pollut Bull* 116: 498-500.

Gall SC & Thompson RC (2015) The impact of debris on marine life. *Mar Pollut Bull* 92: 170-179.

Gerking SD (1994) Feeding ecology of fish. San Diego, Califórnia, Academic Press, p 132-151.

Güven O, Kerem G, Jovanovi B, Kıdeys AE (2017) Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environ Pollut* 223: 286-294.

Haimovici M, Pereira S & Vieira P (1989) La pesca demersal em el sur de Brasil en el periodo 1975-1985. *Frente Marítimo* 5: 151-163.

Haimovici M & Miranda LV (2005) Análise das Principais Pescarias Comerciais da Região Sudeste-Sul do Brasil: Dinâmica Populacional das Espécies em Exploração. Série Documentos Revizee-Score Sul, IOUSP, p 40-45.

Hastie T, Tibshirani RJ (1993) Varying-coefficient models. *J Roy Stat B* 55: 757-796.

Hazin FHN, Lessa RPT & Chammas M (1994), First observations on stomach contents of the blue shark, *Prionace glauca*, from southwestern equatorial Atlantic. *Rev Brasil Biol* 54 (2): 195-198.

Jabeen K, Su L, Li J, Yang D, Tong C, Mu J, Shi H (2017) Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environ Pollut* 221: 141-149.

Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, Narayan R, Law KL (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768-771

Karami A, Golieskardi A, Larat V, Karbalaei S, Salamatinia B (2018) Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Sci. Total Environ.* 612: 1380-1386.

Koenker R (2005) *Quantile Regression*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

http://assets.cambridge.org/97805218/45731/frontmatter/9780521845731_frontmatter.pdf (acesso 20 Fev 2019)

Koenker R (2007) *Quantreg Quantile Regression*. R package version 3.19. <https://cran.r-project.org/web/packages/quantreg/quantreg.pdf> (acesso 20 Fev 2019)

Kripa V, Preetha G, Dhanya AM, Pravitha VP, Abhilash KS, Abbas A, Mohammed D, Vishnu PG, Gishnu M, Anil KPS, Khambadker LR, Prema D (2014) Microplastics in the gut of anchovies caught from the mud bank area of Alappuzha, Kerala. *Mar Fish Infor Serv T & E Ser* 219: 1-2.

Kühn S, Fokje L, van Werven SB, Hauke F, Bergmann M, Holtus ME, Tekman MB, van Franeker JA (2017) Plastic ingestion by juvenile polar cod (*Boreogadus saida*) in the Arctic Ocean. *Polar Biol* 41: 2283-2288.

Lacerda AL, Rodrigues L, van Sebille E, Rodrigues FL, Ribeiro L, Secchi ER, Kessler F, Proietti MC (2019) Plastics in sea surface waters around the Antarctic Peninsula *Scien Rep* 9 (3977).

Lusher AL, McHugh M, Thompson RC (2013) Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar Pollut Bull* 67: 94–99.

Lusher AL (2015) Microplastics in the marine environment: distribution, interactions and effects. *In* M. Bergmann L, Gutow L & M Klages, eds. *Marine Anthropogenic Litter*, p. 245-307. Cham, Switzerland, Springer International Publishing.

Lyman H (1987) Bluefishing. Nick Lyons Books, New York. p 10-11.

MacDonald WA (2002) New advances in poly(ethylene terephthalate) polymerization and degradation Polym Int 51: 923-924. <https://doi.org/10.1002/pi.917>. (acesso 15 Jan 2019)

Marshall NJ, Jennings K, McFarland WN, Loew ER, Losey GS (2003) Visual biology of Hawaiian coral reef fishes, Part III, Environmental light and an integrated approach to the ecology of reef fish vision. Copeia 3: 467-480.

Martins AS (2000) As assembleias e as guildas tróficas de peixes ósseos e cefalópodes demersais da plataforma continental e talude superior do extremo sul do Brasil. Tese de doutorado em Oceanografia Biológica, FURG, 169.

Mazzolini E (2010) "Food, Waste, and Judgment on Mount Everest." Cultural Critique, 76. (Fall, 2010): 1-27. <http://www.jstor.org/stable/40925343> (acesso 12 Jun 2019.)

McNicol RE, Noakes DLG (1984) Environmental influences of territoriality of juvenile brook charr, *Salvelinus fontinalis*, in a stream environment. Environ Biol Fishes 10: 29-42.

Miller JC, Lang JC, Sterck HD, Kaiser JL (2018) Analytic models for SIR disease spread on random spatial networks. Jour Complex Networks 6: 948-970.

Miranda DA & Carvalho Souza GF (2016) Are we eating plastic-ingesting fish? Mar Pollut Bull 103: 109-114.

Mizraii RAC, Perez-Venegas D, Vargas J, Pulgar J, Aldana M, Ojeda FP, Duarte C, Galban-Malagon C (2017) Is the feeding type related with the content of microplastic in intertidal fish gut? Mar Pollut Bull 116: 498-500.

Murphy F, Russell M, Ewins C, Quinn B (2017) The uptake of macroplastic & microplastic by demersal & pelagic fish in the Northeast Atlantic around Scotland. Mar Pollut Bull 122: 353-359.

Neves D, Sobral P, Ferreira JL, Pereira T (2015) Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. Mar Pollut Bull 101:119-126.

Oberbeckmann S & Labrenz M (2020) Marine microbial assemblages on microplastics: diversity, adaptation, and role in degradation. *Annu Rev Mar Sci* 12:2.1-2.24.

Ory NC, Sobral P, Ferreira JL, Thiel M (2017) Amberstripe scap *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: 430-437.

Pagnucci dos RMC (2011) Síntese e Caracterização de Padrão de Poliestireno para Cromatografia de Permeação em Gel através da Polimerização via Radical Livre Controlada mediada por Radicais Nitróxidos. Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado, Campinas-SP, p 3-21.

Peters CA & Bratton SP (2016) Urbanization is a major influence on microplastic ingestion by sunfish in the Brazos River Basin, Central Texas, USA. *Environm Pollut* 210: 380-387.

Peters CA, Peyton A, Thomas KB, Rieper S, Bratton P (2017) Foraging preferences influence microplastic ingestion by six marine fish species from the Texas Gulf Coast *Mar Pollut Bull* 124: 82-88.

Pham CK, Ramirez-Llodra E, Alt CHS, Amaro T, Bergmann M, Canals M (2014) Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins. *Plos One* 9: 95-839.

Perry MC, Olsen GH, Richards RA, Osenton PC (2013) Predation on dovekeys by goosefish over deep water in the Northwest Atlantic Ocean. *Northeast Nat* 20: 148-154.

Pinho SP & Macedo EA (2005) Solubility of NaCl, NaBr, and KCl in Water, Methanol, Ethanol, and Their Mixed Solvents. *J Chem Engin Data* 50(1): 29-32.

Plastic Europe (2018) Plastics: the facts. An analysis of European plastics production, demand and waste data in 2017. https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf (acesso 14 Feb 2019)

- PNRS (2010) Política Nacional de Resíduos Sólidos, Altera a lei n. 9.605. <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2010/lei-12305-2-agosto-2010-607598-publicacaooriginal-128609-pl.html> (acesso 14 Jun 2019)
- Possatto FE, Barletta M, Costa F, Ivar do Sul AJ, Dantas DV (2011) Plastic debris ingestion by catfish: an unexpected fisheries impact. *Mar. Pollut. Bull.* 62: 1098-1102.
- Ramos J, Barletta MAA, Costa FM (2012) Ingestion of nylon threads by Gerreidae while using a tropical estuary as foraging grounds. *Aquat Biol* 17: 29-34.
- Santos RG, Andrades R, Fardim LM, Martins AS (2016) Marine debris ingestion and Thayer's law and The importance of plastic color. *Environ Pollut* 214: 585-588.
- Rummel CD, Löder MGJ, FrickeNF, Lang T, Griebeler EM, Janke M, Gerdts G (2016) Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea. *Mar Pollut Bull* 102, 134-141.
- Sacova MS, Tyson CW, McGill M, Slager J (2017) Odours from marine plastic debris induce food search behaviours in a forage fish. *Proc R Soc B* 16, 284.
- Setälä O, Fleming-Lehtinen V, Lehtiniemi M (2014) Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ Pollut* 185: 77-83.
- Silverstein RA, Chen Y, Sharma RS, Boyette MD, Osborne JA (2007) comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks. *Biores Techn* 98(16): 3000-3011.
- Steer M, Cole M, Thompson RC, Lindeque PK (2017) Microplastic ingestion in fish larvae in the western English Channel. *Environ Pollut* 226: 250-259.
- Tanaka K & Takada H (2016) Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters *Sci Rep* 6: 34-35.
- Teuten EL, Saquing JM, Knappe DRU, Barlaz MA, Jonsson S, Bjorn A, Rowland ST, Thompson RC, Galloway TS, Yamashita R, Ochi D, Watanuki Y, Moore C, Viet PH, Tana TS, Prudente M, Boonyatumanond R, Zkaria MP, Akkhavong K, Ogata Y, Hirai H, Iwasa S, Mizukawa K, Hagino Y, Imamura A, Saha M, Takada H (2009)

Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos Trans R Soc B* 364: 2027-2045.

Torre M, Nikoletta D, Aikaterini A, Tsangaris C, Mytilineou C (2016) Anthropogenic microfibres pollution in marine biota. A new and simple methodology to minimize airborne contamination. *Mar Pollut Bull* 113: 55-61.

van Sebille E, Wilcox C, Lebreton L, Maximenko N, Hardesty BD, van Franeker JA, Eriksen M, Siegel D, Galgani F, Law KL (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environ Res Lett* 10: 1-12.

Vendel AL, Bessa F, Alves VEN, Amorim ALA, Patrício J, Palma ART (2017) Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Mar Pollut Bull* 117: 448-455.

Walls GL (1963) *The Vertebrate Eye and its Adaptive Radiation*. Cranbrook Inst. Hafner Publishing Company, NY, 368-375.

Wieczorek AM, Morrison L, Croot PL, Allcock AL, MacLoughlin E, Savard O, Brownlow H, Doyle TK (2018) Frequency of Microplastics in Mesopelagic Fishes from the Northwest Atlantic. *Front Mar Sci* 5:39.

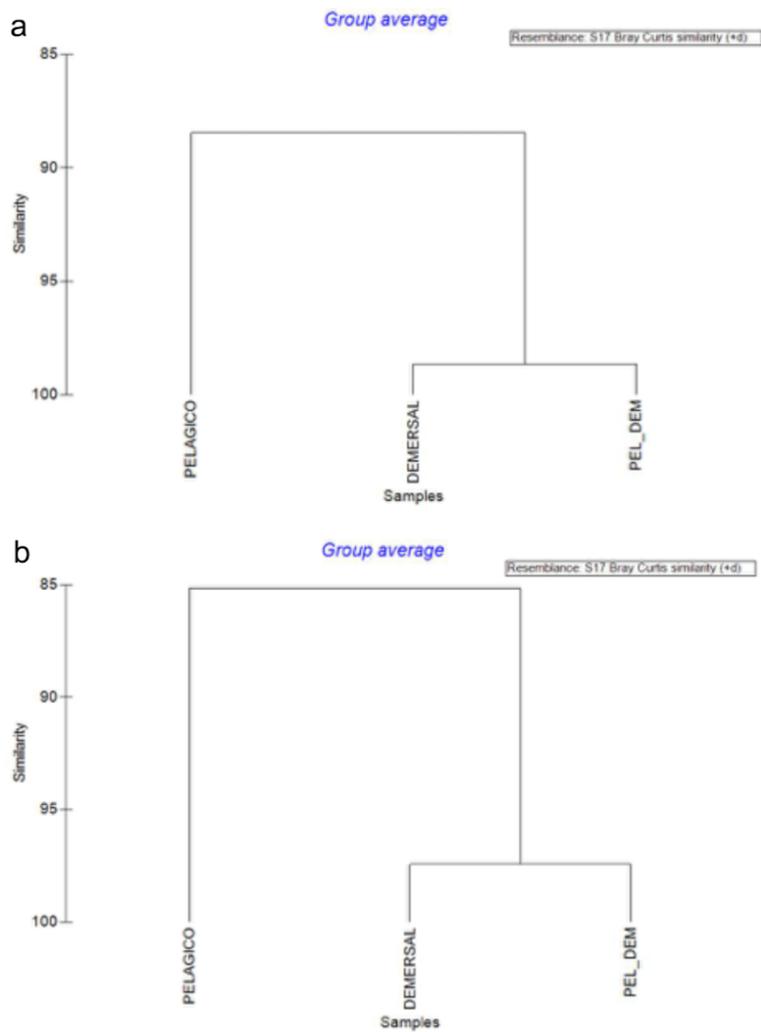
MATERIAL SUPLEMENTAR

Figura S1. Similaridade (%) de agrupamentos de abundância de (a) tipos de plásticos e (b) cores ingeridas por peixes marinhos de diferentes habitats no sudeste-sul do Brasil.

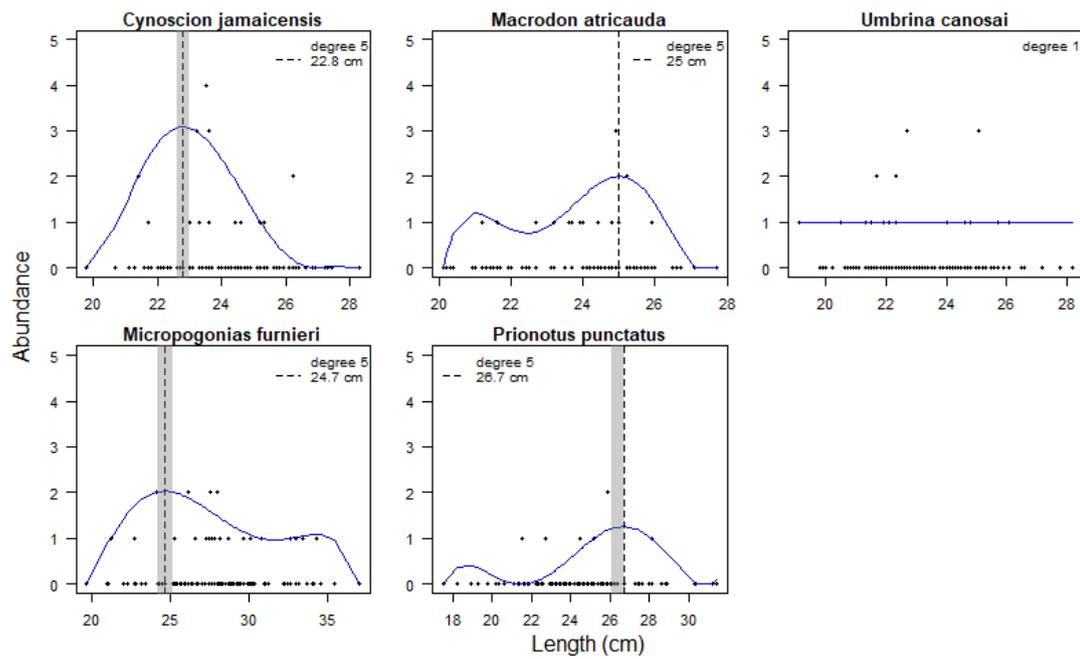


Figura S2. Regressão quantílica entre a abundância de plásticos ingeridos e o comprimento total das espécies de peixes marinhos analisadas. Linhas tracejadas mostram os tamanhos estimados em que ocorre a maior ingestão; barras cinzas são os intervalos de confiança; O melhor grau polinomial ajustado é dado no canto superior direito.

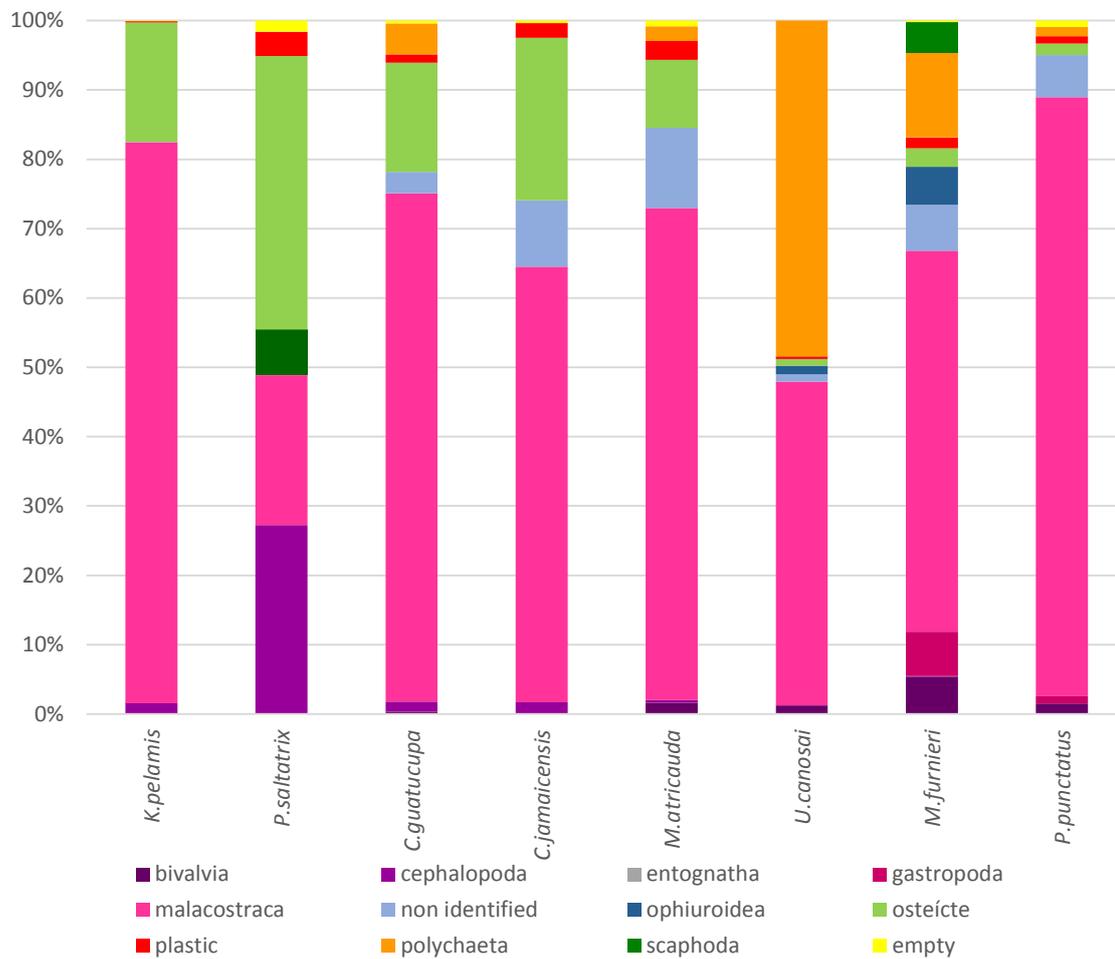


Figura S3. Porcentagem relativa de presas e itens plásticos ingeridos por espécies de peixes marinhos avaliados neste estudo.

Tabela S1. Resumo da ingestão de itens plásticos por espécies. Número de peixes com plástico, tamanho do peixe (cm) (mínimo e máximo), Frequência de Ocorrência (FO%), média ± DP (média), tipo de plástico e cor, segundo o habitat (pelágico, demersal-pelágico e demersal) e espécie.

	Pelágico				Demersal-pelágico						Demersal
	Total (964)	Pelágico (242)	Demersal- pelágico (364)	Demersal (358)	<i>K. pelamis</i> (120)	<i>P. saltatrix</i> (122)	<i>C. guatucupa</i> (124)	<i>C. jamaicensis</i> (120)	<i>M. atricauda</i> (120)	<i>U. canosai</i> (120)	<i>M. furnieri</i> (118)
Peixe c/ plast.	134	55	42	37	31	24	13	13	16	16	15
Comprimento do peixe (cm)	14,3-70,0 (30,1±9,8)	28,5-70,0 (45,1±6,8)	14,3-57,4 (26,3±6,6)	17,5-37,1 (25,0±3,1)	42,0-70,0 (50,4±5,7)	28,5-52,2 (39,6±3,2)	14,3-57,4 (30,7±9,4)	19,8-28,3 (24,2±1,8)	15,3-31,8 (23,8±2,1)	19,1-28,2 (23,1±1,7)	19,7-37,1 (28,0±3,3)
FO%	16,9	22,7	11,5	10,3	25,8	19,7	10,5	10,8	13,3	13,3	12,7
Média	1,28±0,7	0,45±1,05	0,15±0,49	0,12±0,40	0,65±1,33	0,26±0,60	0,23±0,62	0,18±0,62	0,17±0,47	0,18±0,53	0,13±0,33
Tipo	Fibra	124	52	40	32	39	13	11	15	14	17
	Fragmento	70	43	15	12	31	12	3	6	6	5
	Pellet	8	7	1	0	1	6	0	1	0	0
	Isopor	5	5	0	0	5	0	0	0	0	0
	Filme	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0
	Copo	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	Glitter	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Cor	Transparente	77	60	7	10	45	15	5	1	1	4
	Preto	58	23	16	19	10	13	1	8	7	11
	Azul	55	24	20	11	14	10	5	10	5	3
	Branco	24	15	5	4	13	2	0	1	4	1
	Vermelho	16	1	6	9	1	0	3	2	1	3
	Verde	8	5	1	2	4	1	0	0	1	0
	Cinza	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0

Tabela S2. Parâmetros da regressão quantílica entre abundância de plásticos ingeridos e tamanho dos peixes, com habitat, grau do melhor ajuste, Maior Abundância Estimada (HEA), Comprimento da Maior Abundância (LHA) e Intervalos de Confiança (IC) de 95%.

Habitat	Especies	grau	MAE (n)	CMA (cm)	±IC (cm)
Pelágico	<i>K. pelamis</i>	3	5,03	53	(52;54)
	<i>P. saltatrix</i>	3	2,02	41,7	(41,6;42)
Demersal-pelágico	<i>C. guatucupa</i>	1	1	-	-
	<i>C. jamaicensis</i>	5	3,09	2,8	(22,6;23)
	<i>M. atricauda</i>	5	2	25	(25;25)
Demersal	<i>U. canosai</i>	1	1	-	-
	<i>M. furnieri</i>	5	2,03	24,7	(24,2;25,2)
	<i>P. punctatus</i>	5	1,26	26,7	(26,1;26,7)