Serviço Público Federal
Universidade Federal do Pará
Campus Universitário de Altamira
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

Letícia Lima Correia

Presença de resíduos plásticos em morcegos da Amazônia ocidental brasileira

Orientador: Prof. Dr. Thiago Bernardi Vieira

Coorientador: Prof. Dr. Danielle Regina Gomes Ribeiro Brasil

ALTAMIRA - PA

JULHO – 2022

Anexo 01

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

CAMPUS ALTAMIRA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE DE CONSERVAÇÃO

Letícia Lima Correia

PRESENÇA DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM MORCEGOS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL BRASILEIRA

Orientador: Prof. Dr. Thiago Bernardi Vieira

Coorientador: Prof. Dr. Danielle Regina Gomes Ribeiro Brasil

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

ALTAMIRA - PA

JULHO – 2022

C824p Correia, Letícia Lima.
Presença de resíduos plásticos em morcegos da Amazônia ocidental brasileira / Letícia Lima Correia. — 2022.
33 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Thiago Bernardi Vieira
Coorientação: Profª. Dra. Danielle Regina Gomes Ribeiro Brasil
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Altamira, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Altamira, 2022.

1. Microplástico. 2. Chiropteros. 3. Sistema digestório. 4. Sistema respiratório. I. Título.

CDD 574.522209811

Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal do Pará;

Ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação;

À PROPESP pela bolsa de pesquisa que veio no final do curso, mas me ajudou muito;

Ao Laboratório de Ecologia;

Ao grupo de Pesquisa ChiroXingu e aos colegas Ana Beatriz e Maiara, pela ajuda no laboratório e na coleta.

À professora Magali, que disponibilizou o laboratório de Microbiologia;

Àminha coorientadora Danielle, que muito me ensinou e sempre teve muita calma, me auxiliando mesmo que à distância;

Aos meus amigos que direta ou indiretamente estiveram comigo: Deuvanete e Natasha, que sempre me apoiaram e acreditaram em mim; Loyriane, que se tornou mais que uma amiga e estava presente nos momentos de desesperos e alegrias, me acompanhando no laboratório até tarde da noite quando precisei, mesmo quando tínhamos cavalgada no dia seguinte;

Ao meu orientador Thiago, que é o melhor orientador que eu poderia ter no mestrado, me ensinou o que é pesquisa e a gostar de trabalhar com morcegos, talvez porque ele realmente gosta do que faz e contagia seus alunos; ele me mostrou também que um orientador pode ser um ótimo amigo;

À minha família, por sempre me apoiar, em especial à vó Lola, tio Joel e vó Antônia; às minhas tias e primas;

Agradeço especialmente ao meu pai por todas as conversas e ensinamentos; à minha mãe, por sempre fazer de tudo por mim e pelo meu irmão; e ao meu irmão: obrigada por todo apoio e por tudo que fazem por mim, por sempre me incentivarem a finalizar o mestrado, amo muito vocês!

Sumario

Resumo 2
Highlights: 3
Introdução 4
Material e Métodos 7
Local de coleta e espécies estudadas 7
Análise do material 11
Extração dos tecidos biológicos 11
Digestão dos tecidos biológicos 11
Análise visual dos resíduos plásticos 11
Garantia de qualidade e controle de qualidade (GQ / CQ) 11
Análise estatística 12
Resultados 13
Discussão 17
Conclusão Geral 21
Referências 22

Este capítulo está formatado nas normas da revista Science of The Total Environment (STOTEN), disponível em: https://www.elsevier.com/journals/science-of-the-total-environment/0048-9697/guide-for-authors

A STOTEN é uma revista internacional multidisciplinar com interfaces na contaminação do ambiente nas variadas esferas ecológicas, incluindo contaminação por microplásticos em diferentes organismos. Por esse motivo acreditamos que este manuscrito se enquadra no escopo da revista e será uma contribuição para a sociedade científica.

Capítulo 1

PRESENÇA DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM MORCEGOS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL BRASILEIRA

Resumo

Os microplásticos (MPs) se tornaram uma preocupação ambiental, e estudos com humanos e diferentes animais vem sendo realizados e aperfeiçoados. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi verificar a ingestão de MPs em morcegos da Amazônia legal. Para tanto, foi analisado o sistema digestório e respiratório de 81 indivíduos de morcegos de 25 espécies diferentes. Entre os morcegos analisados 95,06% apresentaram contaminação por MPs; o sistema digestório foi o que apresentou maior contaminação e as fibras foram a única forma encontrada. A ingestão e inalação de resíduos plásticos pode acontecer através do contato direto ou indireto com ar, água ou alimentos contaminados. Com a verificação da contaminação por MPs em, principalmente no sistema digestório, trabalhos futuros podem analisar suas fezes para verificar a quantidade de MP estão excretando.

Palavras-chaves: Microplástico; Chiropteros; Sistema digestório; Sistema respiratório.

Highlights:

- Primeiro relato de contaminação por microplástico em morcegos.
- Morcegos estão sendo contaminados através dos níveis tróficos.
- Estudos são necessários para saber de fato como os morcegos são afetados pela ingestão/inalação de MPs.

1. Introdução

Plásticos são polímeros provenientes do petróleo, persistentes no ambiente, considerados como contaminantes emergentes e de origem antropogênica, encontrados nos ambientes aquáticos, terrestres e atmosférico (Anderson et al., 2016; Thompson et al., 2009; Wilson et al., 2021), além da água de beber (Danopoulos et al., 2020) e alimentos (Schymanski et al., 2018). Os microplásticos mais difundidos no ambiente são plásticos de tamanho menor que 5 mm, encontrados em praticamente todo lugar devido ao seu pequeno tamanho, incluindo nos alimentos, a exemplo das frutas consumidas pelo ser humano e pelos animais silvestres (Dris et al., 2015; Schymanski et al., 2018), como os morcegos. Morcegos podem ingerir resíduos plásticos de forma incidental, pelo consumo de recursos alimentares contaminados, ocorrendo a bioacumulação e/ou a biomagnificação (da Costa Araújo and Malafaia, 2021a).

Os plásticos são classificados de acordo com seus tamanhos, formas e tipo de polímero. Em relação ao tamanho, não há um consenso padrão entre a comunidade científica, mas podem ser classificados em nanoplásticos < 1 mm; microplásticos > 1 a 5 mm; mesoplásticos > 5 a 25 mm; e macroplásticos > 25 mm (Wagner et al., 2014). Os microplásticos podem, ainda, ser de origem primária, quando são fabricados em tamanhos considerados como micro, utilizados para diferentes finalidades (ex.: indústria cosmética), ou secundários, quando são derivados da fragmentação de itens macroplásticos (Boucher and Friot, 2017; Lusher et al., 2017; Serranti et al., 2014). Considerando estudos com outros organismos, é possível observar que quanto menor a partícula, mais fácil de ser absorvida via sistema respiratório (Ribeiro-Brasil et al., 2020). Assim como demosntrado em seres humanos, possivelmente essa é uma das formas de absorção de MPs também pelos morcegos (Gasperi et al., 2018a).

Em relação ao formato, as partículas podem ser esféricas, como pellet, ter formatos irregulares como os fragmentos e filmes, ou ainda alongadas e finas como as fibras (McCormick et al., 2016). O formato pode facilitar tanto a ingestão quanto a absorção e dificultar a excreção (Covernton et al., 2019). Dentre essas, as mais encontradas nos ambientes são as fibras provenientes de roupas (Doucet et al., 2021) e algumas delas podem ser facilmente inaladas (Gasperi et al., 2018b). Acreditamos que, assim como para os peixes

(Neto et al., 2020; Ribeiro-Brasil et al., 2020), aves (Carlin et al., 2020) e seres humanos (Gasperi et al., 2018b), as fibras serão mais abundantemente ingeridas e inaladas pelas diferentes espécies de morcegos.

Quanto a classificação do plástico, existem diferentes classificações como policloreto de vinila (PVC), politereftalato de etila (PET), poliamida, poliéster, polietileno entre outros (Villanueva and Eder, 2014). Esses tipos de plásticos são utilizados na fabricação de utensílios domésticos, roupas e diversos itens usuais que podem ser distribuídos longe de sua origem, dependendo da forma de descarte e do tamanho do plástico (Huerta Lwanga et al., 2016; Lebreton et al., 2017; Wang et al., 2015). As microfibras provenientes da lavagem de roupas se encontram possivelmente no ar, de forma que sua inalação e ingestão pode estar relacionada aos papéis ecológicos que cada espécie de morcego desempenha no ambiente.

Já foram encontrados resíduos plásticos em diversos órgãos de diferentes organismos (Catarino et al., 2017; de Sá et al., 2018; Li et al., 2016; Ribeiro-Brasil et al., 2020; Su et al., 2019; Wang et al., 2021) e no ar (Gasperi et al., 2018a). A maior parte dos estudos encontrados e disponíveis estão voltados para o ambiente aquático marinho, sem relatos, até o presente momento, de casos de contaminação por resíduos plásticos em morcegos, mostrando ser esta uma importante lacuna de conhecimento a ser preenchida, uma vez que os morcegos são susceptíveis a contaminação plástica por diferentes vias. Atualmente são reconhecidas 1.420 espécies de morcegos no mundo (Simmons and Cirranello, 2022), dentre essas, 181 ocorrem no Brasil (de Carvalho, 2018). Morcegos apresentam uma grande diversificação morfológica e comportamental, se alimentando de frutos, néctar, sangue, insetos e vertebrados (Kunz et al., 2011) e essas peculiaridades permitem que os morcegos desempenhem papéis ecológicos fundamentais no ecossistema, como polinização, dispersão e controle de insetos, incluindo pragas agrícolas (Russo et al., 2018). Dentre os morcegos que se alimentam de insetos, observa-se a existência de quatro diferentes guildas: modo aéreo, modo de respinga, modo de arrasto e insetívoro/piscívoro de arrasto espacial desordenado (Schnitzler and Kalko, 2001). Assim, observam-se espécies de morcegos que se alimentam de pequenos insetos voadores, como mosquitos e moscas, em clareiras (*Myotis nigricans*), morcegos que se alimentam de mariposas e outros insetos que ficam acima do dossel das árvores (*Molossus molossus*), morcegos que utilizam a estratégia de “senta e espera” e acabam capturando grilos e outros artrópodes maiores no chão da floresta (*Lonchorhina aurita*) e espécies menos especializadas quanto ao tamanho das presas e que ocupam as

bordas da vegetação. De fato, cerca de 70% das espécies de morcegos são insetívoros e se alimentam de inúmeros tipos de artrópodes, incluindo desde mosquitos e mariposas a grandes artrópodes, como grilos e gafanhotos (Treitler et al., 2016). Adicionalmente observamos que os morcegos são afetados de forma diferente pela mudança e cobertura do solo (como a conversão de áreas naturais em áreas rurais e urbanas) com algumas espécies sendo diminuídas em sua abundância ou sendo extintas localmente das áreas alteradas e outras, apresentando um aumento da sua abundância, sugerindo assim que a contaminação por plástico deve afetar de forma diferente os morcegos e, mesmo dentre os insetívoros, devido as idiossincrasias em seu comportamento de vôo e alimentar, o grau de contaminação deve ser diferente, tanto nas vias aéreas quando digestórias (Guzzetti et al., 2018).

A ingestão de MPs pode dar falsa sensação de saciedade e dificultar a digestão dos alimentos naturais com adicional redução do *fitness*, uma vez que os resíduos plásticos não possuem propriedades nutritivas (Santos et al., 2020). Uma vez absorvidos pelos organismos, o contato dos resíduos plásticos pode causar lesões nos órgãos (Ahrendt et al., 2020). Além disso, as lesões podem gerar inflamação entre outros efeitos negativos ainda não completamente elucidados (Jin et al., 2018). Esses efeitos colaterais podem interferir nos serviços ecossistêmicos desenvolvidos pelos morcegos, consequentemente diminuindo a dispersão de sementes em áreas degradadas, polinização das plantas e controle de algumas pragas como ratos (Mainea and Boylesa, 2015). Os resíduos plásticos também são grandes vetores de doenças virais e bacterianas (Amaral-Zettler et al., 2020), além de contaminantes adicionais por absorção, como metais, deixando as espécies suscetíveis a doenças em decorrência da baixa imunidade, interferindo no seu modo de vida (Vethaak and Leslie, 2016).

Debates sobre como solucionar ou amenizar a contaminação por esses resíduos são frequentes e diversos, todos com o mesmo intuito de melhor gerenciar os resíduos sólidos plásticos (Willis et al., 2018; Zhou et al., 2021). A incineração está entre algumas formas de amenizar esse contaminante, mas acaba prejudicando a vida dos organismos. A incineração de plásticos é um processo que emite muitos gases tóxicos como dioxina, gases prejudiciais ao ar, saúde humana e dos animais silvestres, resultando na liberação de fuligem no ar, poluição, além de metais como o mercúrio e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), entre outros compostos bromados cancerígenos e mutagênicos. Todos esses contaminantes são prejudiciais ao sistema nervoso central (Verma et al., 2016). Por esse motivo a queima

plástica pode ser considerada um método não eficaz, sendo necessária a avaliação de outros métodos mas, para isso, deve-se primeiramente compreender a forma de contato dos organismos com os resíduos plásticos, principalmente os que ainda não foram estudados, a exemplo dos morcegos.

Considerando a grande quantidade de trabalhos relacionados a resíduos plásticos, principalmente para o meio aquático, acredita-se que há sempre a necessidade de novos trabalhos direcionados ao meio terrestre e a espécies chaves para o ambiente. Este trabalho é pioneiro para analisar a presença de resíduos plásticos em morcegos. Com isso o trabalho teve o objetivo geral de Analisar a contaminação por resíduos plásticos em morcegos da Amazônia ocidental brasileira e i) Identificar e quantificar os resíduos plásticos do sistema respiratório e digestório dos morcegos estudados; ii) Correlacionar o comprimento e peso dos ógãos com a concentração de resíduos plásticos; iii) Correlacionar as guildas tróficas com a frequência e abundância de resíduos nos diferentes órgãos e iv) Correlacionar as guildas tróficas com a frequência e abundância de resíduos nos diferentes órgãos.

2. Material e Métodos

2.1 Local de coleta e espécies estudadas

As coletas foram realizadas em áreas urbanas e rurais no estado do Pará, totalizando 26 pontos (Tabela 1). Oito pontos rurais e quatro urbanos no município de Altamira, um rural no município de Brasil Novo, um ponto no município de Placas, um ponto no município de Nova Timboteua, um no município de Bragança, um ponto no município de São Félix do Xingu, um ponto no município de Uruará, quatro pontos rurais em Vitória do Xingu e quatro pontos rurais em Medicilândia (Figura 1). A região possui um clima tropical do tipo Am, segundo a classificação climática de Köppen, com temperatura média de 26.1°C e pluviosidade média anual de 1.914 milímetros (Peel et al., 2007). Durante as coletas foi realizado o teste denominado branco, que consiste em coletar amostras do ambiente natural dos espécimes com o auxílio de um recipiente com Hidróxido de Potássio (KOH; 10%), que permaneceu aberto em sete pontos de coleta durante 24 horas, permitindo a análise de componentes do ambiente das amostras.

Os morcegos foram amostrados utilizando redes de neblina (dez redes de 9m x 2,5m) abertas ao pôr do sol e permanecendo durante seis horas, vistoriada a cada meia hora. Os morcegos capturados foram acondicionados em sacos de tecido 100% algodão. Posteriormente, os morcegos coletados foram levados para o Laboratório de Ecologia de

Altamira (LABECO), da Universidade Federal do Pará (UFPA), campus Altamira, eutanasiados por deslocamento cervical e os dados morfométricos (comprimento total do pé, da orelha, do tragus, do antebraço e o peso) foram aferidos. Posteriormente os morcegos foram fixados com formol 10% e armazenados em recipientes de vidro com álcool 70% na Coleção de Morcegos do ChiroXingu: Núcleo de Estudos em Ecologia e Conservação de Quirópteros, localizado na UFPA, campus Altamira-PA, Amazônia brasileira. As coletas dos morcegos foram realizadas pelo grupo de pesquisa ChiroXingu durante os meses de abril a agosto de 2017, setembro e outubro de 2018 e janeiro a junho de 2020, utilizando a licença SISBIO nº 57294-2.

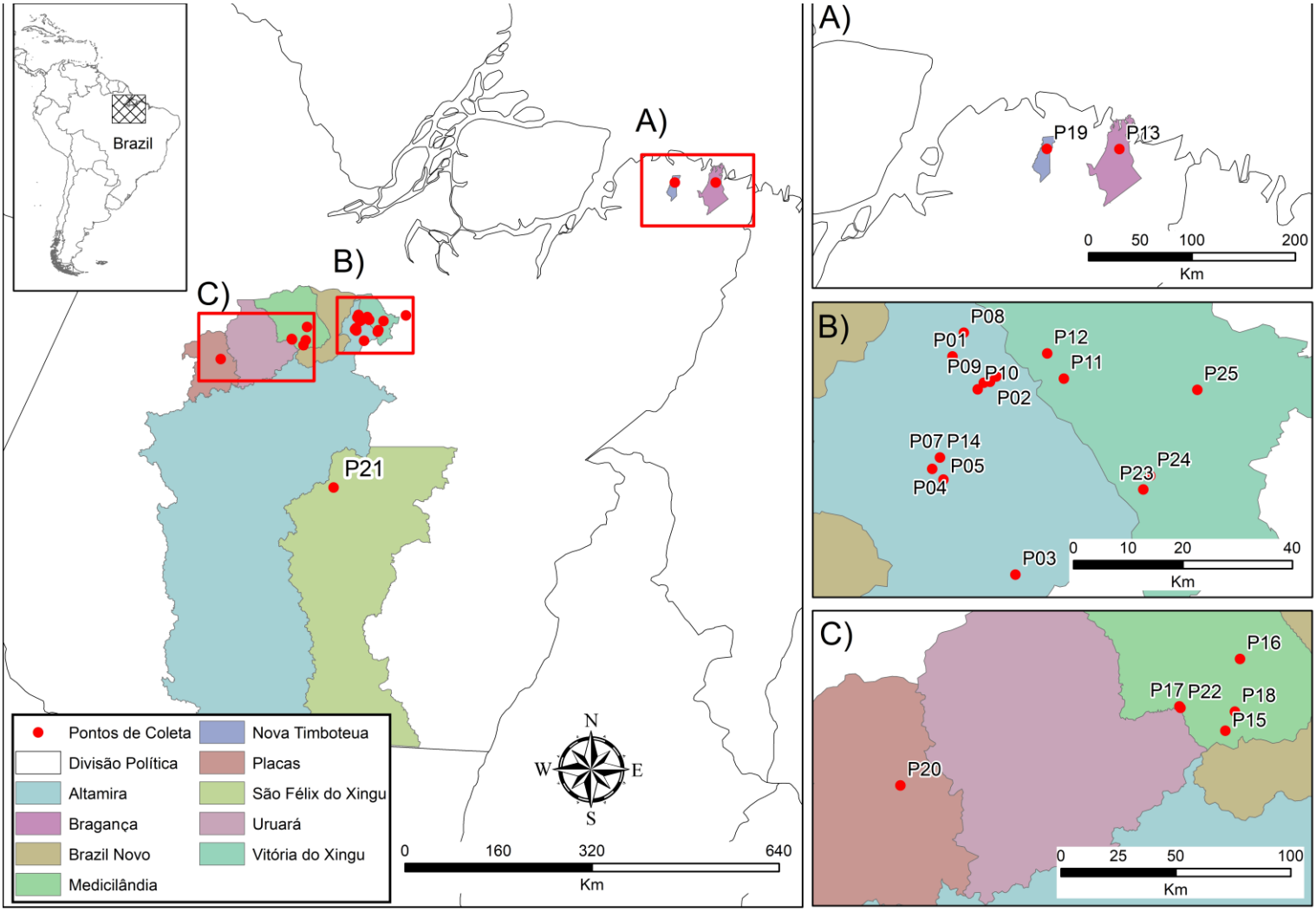

Figura 1: Mapa mostrando os pontos de coleta dos morcegos e os municípios. A) Municípios de Bragança e Nova Timboteua. B) Municípios de Altamira e Vitória do Xingu. C) Municípios de Medicilândia, Uruará e Placas. O ponto 21 está localizado no município de São Félix do Xingu. Todos os municípios estão localizados no estado do Pará, norte do Brasil.

Tabela 1: Pontos de coletas de morcegos caracterizados pela localização do município, coordenadas geográficas e o tipo de ambiente.

Ponto de Coleta	Município	Coordenadas em graus decimais		Ambiente
		Latitude (W)	Longitude (S)	
P01	Altamira	-52,253990	-3,156140	Rural
P02		-52,19211	-3,19803	Urbano
P03		-52,150320	-3,515619	Urbano
P04		-52,287420	-3,341350	Rural
P05		-52,268830	-3,359210	Rural
P06		-52,181760	-3,189400	Urbano
P07		-52,274694	-3,322750	Rural
P08		-52,235370	-3,117135	Rural
P09		-52,202389	-3,199694	Urbano
P10		-52,212472	-3,210500	Urbano
P11		-52,070760	-3,192790	Rural
P12		-52,098180	-3,151360	Rural
P13	Bragança	-46,738750	-1,080000	Rural
P14	Brasil Novo	-52,274667	-3,322778	Rural
P15	Medicilândia	-53,082780	-3,583540	Rural
P16		-53,0257	-3,3025	Rural
P17		-53,262880	-3,488000	Rural
P18		-53,045560	-3,508920	Rural
P19	Nova Timboteua	-47,368556	-1,078889	Rural
P20	Placas	-54,355590	-3,798080	Rural
P21	São Félix do Xingu	-52,618720	-5,775530	Rural
P22	Uruará	-53,258080	-3,494170	Rural
P23	Vitória do Xingu	-51,940028	-3,375472	Rural
P24		-51,928670	-3,352950	Rural
P25		-51,851060	-3,211300	Rural
P26		-51,505997	-3,123956	Rural

2.2 Análise do material

2.2.1 Extração dos tecidos biológicos

Foram retirados dos espécimes coletados os órgãos do sistema digestório e respiratório por completo. O sistema digestório foi removido do esôfago até o ânus e o sistema respiratório foi extraído desde a traquéia até os pulmões. O estômago foi separado do intestino, pois os morcegos possuem diversos tipos alimentares e o tipo de alimentação está relacionado ao tamanho do intestino (Schondube et al., 2001), não podendo ser considerado como um sistema único devido a relação com as guildas tróficas. Além disso, foi analisado se tinha uma retenção maior de MPs no estômago ou intestino.

2.2.2 Digestão dos tecidos biológicos

As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro higienizados e contendo Hidróxido de Potássio (KOH; 10 %, V / V), utilizado para dissolver os tecidos. Os recipientes com as amostras foram colocados em estufa com temperatura constante a 60°C por sete dias (Ghosal et al., 2018). Após a digestão dos tecidos as amostras foram filtradas em uma membrana de porosidade 0,2 μm com o auxílio de uma bomba a vácuo. As membranas foram armazenadas em placas petri de vidro, protegidas por envelopes de papel alumínio e levadas novamente para estufa de pelo período de 2h a 4h à temperatura constante de 60°C, para a secagem. O alumínio foi utilizado como barreira contra a luz, evitando a degradação das partículas e para proteger contra contaminação do ambiente de trabalho.

2.2.3 Análise visual dos resíduos plásticos

As amostras foram analisadas em microscópio estereoscópio de aumento de 100 vezes. Foi feita uma varredura nas membranas, da esquerda para a direita, de cima para baixo. Cada item encontrado foi fotografado, identificado quanto ao tamanho para micro plástico, considerando as medidas de Wagner et al. (2014). Essas medidas compreendem as dimensões de microplásticos (MPs) na faixa de comprimento de 1 a 5mm (Wagner et al., 2014).

2.2.4 Garantia de qualidade e controle de qualidade (GQ / CQ)

Todo o processo foi realizado dentro de capela de fluxo laminar higienizada, sem trânsito de pessoas nas proximidades, para evitar contaminação das amostras. Para a identificação do material foram seguidos os critérios descritos por Ribeiro-Brasil et al. (2020), respeitando: a) os resíduos considerados como fibras que tinham a estrutura semelhante a articulações de animais foram desconsiderados; b) foram consideradas apenas

os resíduos que tinham o mesmo padrão de uma ponta a outra; c) a confirmação do plástico para as micropartículas foi feita através do teste da agulha quente (Devriese et al., 2015).

Para os procedimentos em laboratório, foram tomados todos os cuidados necessários como a utilização de roupas e jalecos 100% algodão. Todo o material de análise foi lavado previamente com água destilada e filtrada, por três vezes, antes de ser utilizado. As bancadas, o material, assim como as membranas utilizadas no processo de filtração foram cobertas com papel alumínio durante o procedimento. Foi feito o branco do ambiente de trabalho, o que permite analisar a quantidade de contaminação existente no ambiente da coleta que possa interferir no resultado das análises com uma contaminação que não seja do ambiente natural dos espécimes (Nuelle et al., 2014). Além disso, foram coletadas amostras de microplásticos do ar onde os morcegos foram capturados e posteriormente comparadas com o material das amostras e do ambiente de trabalho, para considerar apenas a contaminação do ambiente amostral. Para tanto, os recipientes de vidro contendo KOH foram expostos no ambiente de captura dos morcegos por um período de 24h.

2.3 Análise estatística

Para identificar se o número de partículas plásticas encontradas nos órgãos e sistemas era diferente de zero foi realizado o t*est t* para média zero, sendo um teste para cada órgão analisado e para cada sistema (digestório e respiratório). Posteriormente, para identificar se a concentração de resíduos plásticos difere entre os órgãos, foi realizada análise de variância (ANOVA) de dois fatores, utilizando o número total de resíduos plásticos por órgão como variável resposta e as guildas tróficas e os órgãos (pulmão, estômago e intestino) como variáveis preditoras. Adicionalmente, realizou-se ANOVA de dois fatores considerando os sistemas (digestório e respiratório) e as guildas tróficas como variáveis preditoras. Para isso, a quantidade de resíduos plásticos do estômago e do intestino foram somadas, representando assim o sistema digestório. Para o sistema respiratório foi considerado apenas o número de resíduos plástico no pulmão.

Para finalizar foi realizada análise de covariância (ANCOVA), para identificar se a quantidade de resíduos plásticos encontrada nos órgãos tem relação com a guilda trófica, comprimento e peso dos órgãos (pulmão, estômago e intestino). Adicionalmente realizou-se o mesmo teste considerando os sistemas (digestório e respiratório). Para isso a quantidade de resíduos, o comprimento e peso do estômago e intestino foram somados, compondo assim os dados do sistema digestório. Para o sistema respiratório foi considerado o número de resíduos plástico, comprimento e peso do pulmão. Todas as análises foram realizadas em ambiente R

(Core Team, 2021) na interface do programa estatístico Jamovi (The jamoviproject, 2021). O nível de significância adotado foi de 0,05 ($\alpha = 0,05$).

3. Resultados

Entre todos os morcegos analisados 95,06% apresentaram contaminação por resíduos plásticos em todos os órgãos analisados (pulmão, estômago e intestino). Foram analisados 81 indivíduos de 25 espécies diferentes abrangendo três famílias e cinco subfamílias (Tabela 2). A espécie *Carollia perspicillata* (Linnaeus, 1758), apresentou a maior quantidade de microplásticos e foi a espécie mais abundante seguindo de *Artibeus cinereus* (Gervais, 1856), *Lophostoma silvicola* d'Orbigny, 1836, *Rhinophylla fischerae* Carter, 1966 e *Pteronotus* sp. Todos os resíduos plásticos encontrados nos morcegos foram do tipo fibra, dentro da faixa de tamanho de MPs (Figura 2).

O número de partículas plásticas encontradas foi diferente de zero para todos os órgãos e sistemas (Tabela 3). O sistema digestório foi o que apresentou maior contaminação em relação ao sistema respiratório. Obteve-se uma média de contaminação por indivíduo de 6.20 ± 6.00 (Tabela 3). Com relação ao número de resíduos plásticos por órgão e guilda, não observou-se interação ($F_{(10,209)} = 0,815$; $p = 0,615$) e nem relação do número de resíduos com os órgãos ($F_{(2,209)} = 0,513$; $p = 0,600$) ou guildas ($F_{(5,209)} = 1,465$; $p = 0,203$) separadamente. O número de resíduos plásticos por sistema e guilda trófica não apresentou interação ($F_{(5,150)} = 0,866$; $p = 0,506$) e nem relação com as guildas ($F_{(5,150)} = 1,593$; $p = 0,165$) explicado apenas pelo sistema (respiratório ou digestório) ($F_{(1,150)} = 4,541$; $p = 0,035$). Com o sistema digestório tendo maior acúmulo de resíduos plásticos (média = 4.97 ± 5.39) que o sistema respiratório (1.69 ± 1.81). A ANCOVA, utilizada para testar a relação entre o acúmulo de resíduos plásticos, tamanho, peso dos órgãos ou sistemas e as guildas tróficas, mostrou independência entre todas as variáveis elencadas (Tabela 4).

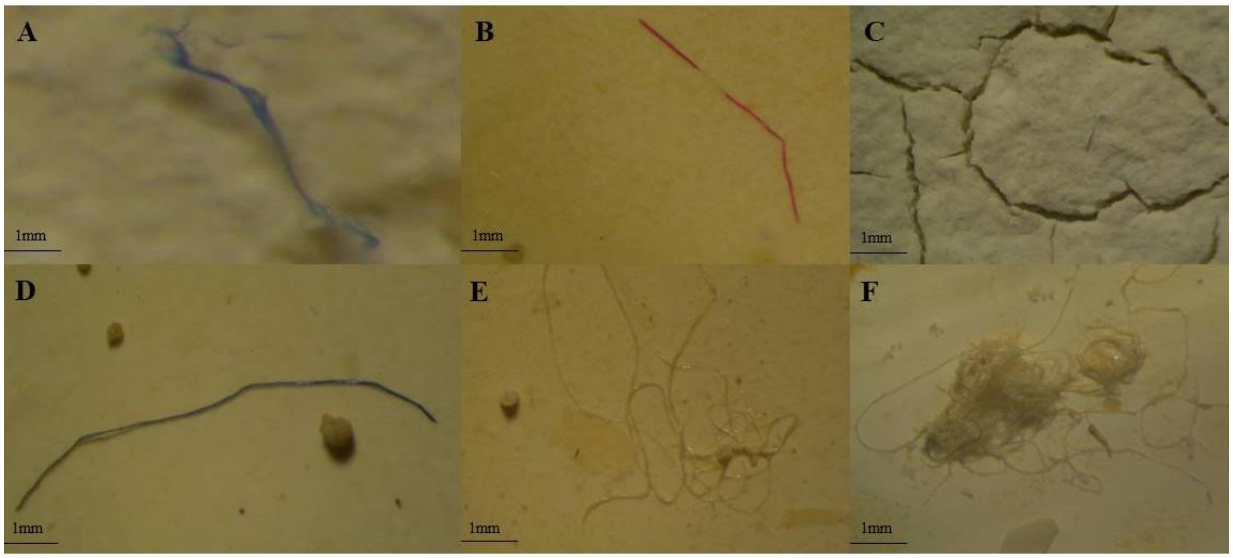

Figura 2: Partículas plásticas encontradas no trato digestório e respiratório dos morcegos analisados. Nas imagens A, B e C referem-se a partículas que não foram consideradas devido às suas caraterísticas (ver Material e Métodos): A) Fibras que não tinham o formato uniforme de uma ponta a outra; B) Fibras que não tinham a cor uniforme C) Fibras com menos de 1mm. Nas figuras D, E e F as partículas que foram consideradas como plástico antes do teste de agulha quente: D) Imagem de um microplástico formato de fibra; E) Emaranhado de plásticos no intestino de um *Peropteryx trinitatis*; F) Emaranhado no estômago de um *Rhinophylla fischerae*.

Tabela 2: Lista de espécies dos morcegos coletados na Amazônia brasileira. N = Total de indivíduos analisados; N* = Quantidade Analisada em cada sistema; Quantidade analisada por cada sistema, total de fibras, M = Média; DP = Desvio Padrão de cada espécie.

Família	Subfamília	Espécie	Guilda trófica	Sistema respiratório			Sistema Digestório	
				N	N*	Total de Fibras (M ± DP)	N*	Total de Fibras (M ± DP)
Embalonurudae	Emballonurinae	*Rhynchonycteris naso* (Wied, 1820)	Insetívoro de clareira	3	1	02 (2,00 ± --)	3	04 (1,33 ± 1,52)
		Saccopteryx bilineata (Temminck, 1838)	Insetívoro de clareira	1	1	04 (4,00 ± --)	1	02 (2,00 ± --)
		Saccopteryx leptura (Schreber, 1774)	Insetívoro de clareira	4	4	05 (1,25 ± 1,25)	4	17 (4,25 ± 7,18)
		Peropteryx trinitatis Miller, 1899	Insetívoro de clareira	3	3	01 (0,33 ± 0,57)	3	23 (7,66 ± 12,42)
Mormophidae		*Pteronotus gymnonotus* (Wagner, 1843)	Insetívoro aéreo	3	3	00 (0,00 ± 0,00)	3	20 (6,66 ± 4,93)
		Pteronotus rubiginosus (Wagner, 1843)	Insetívoro de clareira	2	2	02 (1,00 ± 0,00)	2	10 (5,00 ± 4,24)
		Pteronotus sp.	Insetívoro de clareira	5	5	05 (1,00 ± 0,70)	5	05 (1,00 ± 0,70)
Phylostomidae	Carolinae	*Carollia brevicauda* (Schinz, 1821)	Frugívoro	3	3	03 (1,00 ± 1,00)	3	13 (4,33 ± 3,51)
		Carollia perspicillata (Linnaeus, 1758)	Frugívoro	9	9	35 (3,88 ± 2,36)	9	84 (9,33 ± 7,29)
	Lonchorhininae	*Lonchorhina aurita* Tomes, 1863	Insetívoro catador	3	3	03 (1,00 ± 0,00)	3	07 (2,33 ± 1,52)
	Phyllostominae	*Lophostoma carrikeri* (Allen, 1910)	Insetívoro catador	1	1	02 (2,00 ± --)	1	00 (0,00 ± --)
		Lophostoma silvicola d'Orbigny, 1836	Insetívoro catador	5	4	03 (0,75 ± 0,5)	5	09 (1,8 ± 0,83)
		Phyllostomus discolor Wagner, 1843	Onívoro	2	2	04 (2,00 ± 1,41)	2	11 (5,5 ± 6,36)
		Phyllostomus elongatus (É. Geoffroy, 1810)	Onívoro	1	1	02 (2,00 ± --)	1	02 (2,00 ± --)
		Phyllostomus hastatus (Pallas, 1767)	Onívoro	3	2	04 (2,00 ± 1,41)	3	01 (0,33 ± 0,57)
		Tonatia bidens (Spix, 1823)	Insetívoro catador	3	3	08 (2,66 ± 1,52)	3	19 (6,33 ± 6,11)
	Rhinophyllinae	*Rhinophylla fischerae* Carter, 1966	Frugívoro	5	5	04 (0,8 ± 0,44)	5	43 (8,6 ± 8,56)
	Stenodermatinae	*Artibeus fimbriatus* Gray, 1838	Frugívoro	4	4	06 (1,50 ± 1,29)	4	19 (4,75 ± 1,5)
		Artibeus gnomus Handley, 1987	Frugívoro	1	1	00 (0,00 ± --)	1	01 (1,00 ± --)
		Artibeus obscurus (Schinz, 1821)	Frugívoro	5	5	17 (3,40 ± 3,43)	5	17 (3,4 ± 3,57)
		Artibeus cinereus (Gervais, 1856	Frugívoro	5	5	09 (1,8 ± 0,83)	5	23 (4,6 ± 2,88)
		Sturnira lilium (É. Geoffroy, 1810)	Frugívoro	3	3	00 (0,00 ± 0,00)	3	15 (5,00 ± 1,00)
		Sturnira tildae de la Torre, 1959	Frugívoro	2	2	07 (3,5 ± 2,12)	2	15 (7,5 ± 2,12)
		Uroderma bilobatum Peters, 1866	Frugívoro	3	3	03 (1,00 ± 1,73)	3	09 (3,00 ± 2,00)
		Uroderma magnirostrum Davis, 1968	Frugívoro	2	2	01 (0,5 ± 0,70)	2	03 (1,5 ± 0,70)

Tabela 3: Test t para média zero realizado com o total de resíduos plásticos encontrados nos órgãos e sistemas analisados. O sistema respiratório está representado nas análises pelo resultado do pulmão. gl = graus de liberdade; p = probabilidade erro tipo um.

Órgão/Sistema	Student's t	N	gl	p	Média de resíduos encontrados	Desvio padrão
Pulmão/Respiratório	8.19	77	76.0	< 0.001	1.69	1.81
Estômago	5.81	79	78.0	< 0.001	2.15	3.29
Intestino	5.73	71	70.0	< 0.001	2.85	4.18
Digestório*	7.72	70	69.0	< 0.001	4.97	5.39
Total	9.30	81	80.0	< 0.001	6.20	6.00

* O sistema digestório está representado pela somatória dos resíduos plásticos do estômago e do intestino.

Tabela 4: ANCOVA realizada com o total de resíduos plásticos encontrados nos órgãos e sistemas considerando a guilda trófica, o comprimento e o peso dos órgãos/sistemas. O sistema respiratório está representado pelo pulmão.

Órgão/Sistema	Variável	F	gl	p
Pulmão/Respiratório	Guilda trófica	0.98	5	0.43
	Comprimento	0.10	1	0.75
	Peso	3.34	1	0.07
	Resíduos		69	
Estômago	Guilda trófica	1.31	5	0.27
	Comprimento	0.52	1	0.47
	Peso	0.38	1	0.54
	Resíduos		71	
Intestino	Guilda trófica	0.92	5	0.47
	Comprimento	0.00	1	0.96
	Peso	0.31	1	0.58
	Resíduos		63	
Digestório	Guilda trófica	11.15	5	0.36
	Comprimento	0.09	1	0.76
	Peso	0.99	1	0.32
	Resíduos		62	

4. Discussão

O presente trabalho pode ser considerado o primeiro relato de contaminação por MPs em morcegos na literatura científica, engrossando a lista de organismos capazes de absorver MPs. Dessa forma confirmou-se que morcegos podem ser contaminados por MPs, e essa contaminação pode se dar através das vias aéreas e vias digestórias. Foram encontrados somente MPs do tipo fibra nos ógãos analisados e entre os sistemas analisados. O sistema digestório apresentou maior contaminação por MPs do tipo fibra. A comparação entre a quantidade de resíduos plásticos e peso, tamanho e guildas tróficas não mostrou diferenças significativas.

A contaminação dos ambientes amostrados, ao menos desses ambientes utilizados pelos morcegos, pode ser tanto pelo depósito de resíduos plásticos do ar atmosférico (Gasperi et al., 2018a; Zhang et al., 2020) que são levados pelos ventos, poeira e chuvas, e são depositados sobre frutos, sobre os insetos ou ainda podem ficar presos dentro das flores e aderidos ao néctar e exsudatos de plantas (Dris et al., 2016, 2015; Sommer et al., 2018; Sun et al., 2020; Truong et al., 2021). Outra forma pelo qual os ambientes podem estar sendo contaminados é pela deposição de resíduos plásticos sobre a superfície do solo que então são levados pelas águas das chuvas, e pela água do rio durante o período chuvoso (Sang et al., 2021) e depositados às margens dos rios no período de estiagem (Cordova et al., 2022). As águas, sejam provenientes do rio pelo efeito sazonal ou pluviométricas, carregam os MPs do continente para os riachos, rios e lagos (Rist et al., 2018). O rio Xingu, que abastece as cidades amostradas, a exceção de Bragança (rio Caeté) e Novatimboteua (rio Peixe Boi), é caracterizado por águas mornas e claras (Fitzgerald et al., 2018) e possui uma diversidade de peixes endêmicos (Camargo et al., 2004) e, por isso, muito utilizado por pescadores (artesanais e esportistas), além de banhistas (Mesquita & Isaac-Nahum, 2015; Ribeiro et al., 2017). Há muitos moradores no entorno do rio Xingu, o que acaba por levar resíduos das casas a serem despejados dentro do rio, contaminando diretamente as águas. Além disso, as famílias ribeirinhas utilizam a margem do rio para a lavagem de roupas (Brasil governemnt, 2010). Durante muito tempo os resíduos hospitalares foram despejados diretamente no rio sem nenhum tratamento (Gauthier & Moran, 2018). Todas essas formas de contaminação, dos ambientes em questão, são potenciais fontes diretas de contaminação dos ambientes amostrados e, por consequência, dos morcegos por MPs. O rio Caeté é fortemente influenciado por atividades antrópicas. As cidades que margeiam o rio Caeté dependem dos

recursos alimentares do estuário, formando uma das principais vilas de pescadores do estado do Pará, sendo que as artes de pesca como redes e demais apetrechos são de plástico e podem estar contaminando o ambiente (Pereira et al., 2021, 2010). Contudo, o rio também recebe muitos resíduos hospitalares e domésticos pela falta de saneamento, sendo estas as principais fontes de contaminação do rio Caeté (Pereira et al., 2010). Assim, a absorção dos MPs pelo trato digestório pode acontecer através das águas de rios e corrégos como potencial fonte de contaminação para os morcegos, uma vez que os morcegos utilizam esse tipo de água para saciar sua sede.

A absorção de alimentos contaminados por MPs se dá pelos mesmos modos como descrito para os ambientes acima. Sendo que além da contaminação superficial das folhas, flores e frutos, as raízes das plantas podem absorver os resíduos pláticos do solo contaminado com MPs, e as partículas consideradas como nanoplásticos são conduzidas através do sistema vascular (floema e xilema) (Li et al., 2020a; Lian et al., 2020). Esses resíduos são transportados tanto para o interior da planta como para o interior do caule, o interior das folhas e o interior dos frutos (Li et al., 2021; Li et al., 2020b). Sendo esse um dos possíveis fatores da ingestão por alimentos contaminados. Vale ressaltar que, para este estudo não foram avaliadas partículas menores que 1 mm, devido a dificuldade de análise para confirmação do plástico.

A contaminação de espécies de morcegos insetívoros sugere um processo de biomagnificação trófica, em que os insetos podem ter sido contaminados não somente pelo depósito de micropartículas em seu exoesqueleto, mas também pela ingestão de micropartículas e de alimentos contaminados (Ribeiro-Brasil et al., 2022). Esse resultado já foi observado na literatura, em que a transferência de MPs foi observada de um nível trófico para outro através de girinos, peixes e camundongos (da Costa Araújo and Malafaia, 2021b). Ainda dentro do contexto de biomagnificação, MPs podem se aderir a plantas aquáticas (*Lemna minor*) e serem transferidos para crustáceos (*Gammarus duebeni*) de água doce (Mateos-Cárdenas et al., 2019). Isso sugere que espécies de morcegos que se alimentam de frutos e bebem águas de locais contaminados podem estar absorvendo MPs com a transferência de MPs através dos níveis tróficos ou de forma direta. O mesmo mecanismo, transferência de resíduos plásticos entre diferentes níveis tróficos, pode ser a explicação para a contaminação de morcegos onívoros, sugerindo assim biomagnificação de MPs. Por exemplo, espécies de insetos das ordens Coleoptera e Diptera contaminadas por MPs

(Heinlaan et al., 2020), são espécies que são predadas por morcegos insetívoros (Aguiar et al., 2021), mostrando que os alimentos dos morcegos estão contaminados e assim, contaminando os morcegos de forma indireta.

Em todos os órgãos analisados das 25 espécies, foram encontrados apenas MPs do tipo fibra, que podem ser provenientes de roupas, de artes de pesca, ou de fragmentos de outros plásticos maiores, corroborando a hipótese deste trabalho. Isso mostra que todos os ambientes estão contaminaos por MPs do tipo fibra. As fibras podem ser mais abundantes no ambiente (Browne et al., 2011) e podem ser transportadas com mais facilidade de um local para o outro devido a sua leveza, forma e tamanho (Kaya et al., 2017), e com uma maior chance de se aderir às superfícies, auxiliando na ingestão ou inalação dos MPs. Na literatura, trabalhos mostram que a contaminação de microfibras é a mais abrangente tanto em ambientes aquáticos quanto terrestres devido principalmente aos efluentes domésticos (Cole et al., 2011; Dodson et al., 2020; Dris et al., 2017; Woods et al., 2018). Morcegos que vivem em áreas urbanas ou com uma grande quantidade de pessoas em determinadas áreas, podem estar sujeitos a uma contaminação maior desse tipo de partícula. Dris et al. (2017), mostraram que os ambientes urbanos têm uma quantidade maior de MPs do tipo fibras, que se desprendem de roupas e dos móveis, como sofás e camas (Dris et al., 2017).

Entre os sistemas analisados (respiratório e digestório), nenhum dos dois apresentaram diferença significativa em relação à quantidade de resíduos plásticos, peso e tamanho. O sistema digestório foi o que apresentou maior contaminação por resíduos plásticos, isso pode acontecer por alguns fatores. A contaminação do sistema digestório pode ser tanto pela ingestão de alimentos contaminados (De-la-Torre, 2020) como frutos (Oliveri Conti et al., 2020) e insetos (Heinlaan et al., 2020), pela ingestão de água contaminada (Bertoldi et al., 2021) ou até mesmo quando abrem a boca durante o voo e para se alimentar. Considerando que espécies em áreas urbanas estão sujeitas a uma exposição maior de resíduos plásticos (Schwabl et al., 2019). Levando em consideração que para o atual estudo foi analisado apenas o sistema digestório e respiratório, estudos futuros podem verificar MPs em fezes de morcegos por ser esse um método não invasivo, além de identificar o quanto de partículas está sendo eliminada. Além disso, seria importante avaliar o conteúdo estomacal, bem como os alimentos ingeridos, pois não foram analisados separadamente devido à técnica destrutiva dos órgãos analisados.

As aves estão entre o grupo de animais voadores que são atingidos por resíduos plásticos. Trabalhos mostram uma variação da contaminação em aves de 69% a 100% e médida de 2 a 12 plásticos. A exemplo dos estudos de Carlin et al. (2020), onde avaliaram a ingestão por 100% das aves de rapina e obtiveram uma média de 11,9 ± 2,8 sendo essas partículas microfibras, microesferas, microfragmentos e macroplásticos (Carlin et al., 2020). Outros trabalhos mostram uma contaminação também alta como o trabalho de Weitzel et al. (2021), na espécie *Clapper rail* mostrando 83% de contaminação, com média de 6 ± 7,2 de partículas de tamanho microplásticos; e 69%, na espécie *Seaside sparrow* com média de 2 ± 2,7 (Weitzel et al., 2021). Enquanto que os morcegos mostraram contaminação de 95% dos indivíduos analisados, com média de ingestão de 4,97 ± 5,39 de MPs. As aves apresentam uma maior média para ingestão de MPs. Essa diferença na ingestão de resíduos plásticos possivelmente se dá pela questão de as aves de rapina serem predadores topo, e a ingestão de outros animais que possam estar contaminados por MPs seja maior que nos morcegos, já que no atual estudo foram analisados outros níveis tróficos como os frugívoros. Considerando que a contaminação plástica está relacionada a urbanização, bem como à densidade populacional e ao consumo de itens plásticos (Lebreton et al., 2017). Partindo desse princípio, os morcegos, são atraídos para os centros urbanos pela oferta de alimento, como insetos e ratos. Nesse ínterim, os morcegos são contaminados com MPs. A ingestão de partículas plásticas não estão ligadas diretamente a risco de morte súbita e sobrevivência das espécies, mas a ingestão influência ao longo do tempo, no desenvolvimento ontogenético e fitness. Dificilmente as partículas irão resultar em morte rápida, mas os MPs ingeridos podem causar efeitos adversos, como a redução do peso dos filhotes, inflamação em tecidos (Roman et al., 2019), entre outros efeitos que, com o passar do tempo, poderão influenciar nos serviços ecossistêmicos e assim causar a morte ecológica (Gambardella et al., 2017), quando o espécime deixa de executar a sua função no ambiente.

A presença de MPs já foi detectada anteriormente em pulmões humanos (Pauly et al., 1998), estudos realizados com humanos mostram que 19,49% das amostras eram fibras (Jenner et al., 2022). Enquanto que nos pulmões dos morcegos eram 100% microfibras. Outros trabalhos mostram que a contaminação por MPs varia de 24% (24 de 100 amostras contaminadas) (Chen et al., 2022) a 84,61% (11 de 13 amostras contaminadas) (Jenner et al., 2022). Enquanto nos morcegos observou-se 76% de contaminação (62 de 81 amostras contaminadas), valor superior ao de estudos com tecidos pulmonares, em que foram observados 65% de contaminação (13/20 amostras contaminadas) (Amato-Lourenço et al.,

2021). Nos morcegos foi encontrada uma média de 1,69 ± 1,81 no sistema respiratório, enquanto em outros estudos foi encontrada uma média que varia de 3,00 ± 2,55 (Jenner et al., 2022), 0,24 ± 0,49 (Chen et al., 2022) e 2,38 (Amato-Lourenço et al., 2021). Os morcegos apresentaram maior média em relação ao pulmão humano, porém o desvio padrão de 1.81 mostra que a variação da contaminação nos morcegos é menor, considerando-se que foram analisados os pulmões inteiros dos morcegos e nos humanos apenas uma pequena parte de tecido. Além disso, uma vez que os dados oferecidos na literatura não permitem uma melhor comparação de área tecidual contaminada dos pulmões humanos com os pulmões dos morcegos, pode-ses inferir que há uma diferença de contaminação da via respiratória entre morcegos e humanos. Os pulmões dos morcegos estão menos contaminados que os pulmões humanos. Essa diferença de concentração de inalação de partículas plásticas se dá possivelmente devido a alta exposição nos centros urbanos onde vivem os seres humanos, havendo contaminação direta dentro das casas (ex. roupas e móveis), nas ruas e no local de trabalho. Além disso é preciso considerar outros fatores, como o tempo de vida. É esperado que o ser humano viva mais (expectativa de 70 anos) que os morcegos (expectativa de 10 anos) e, dessa forma, com o passar do tempo haja aumento da exposição. Esses podem ser considerados motivos pelos quais há menos partículas inaladas pelos morcegos em relação aos humanos. É importante ressaltar que tanto em morcegos quanto humanos há uma lacuna de conhecimento sobre os efeitos negativos que essas partículas estão deixando no sistema respiratório.

Os órgãos análisados no presente estudo são ógãos de absorção direta de MPs do ambiente e, a partir dessa absorção, uma vez no organismo os MPs podem migrar para qualquer outro órgão-alvo (Browne et al., 2008). Analisar o sistema respiratório foi importante pois mostrou que vários ógãos estão contaminados por MPs; se fosse possível a análise de outros órgãos, provavelmente a contaminação seria mais elevada. Dessa forma, se faz neccessária a análise de vários órgãos/tecidos, principalmente quando se refere às vias diretas de contaminação, para estimar a contaminação por MPs.

5. Conclusão Geral

Observou-se, com este trabalho, que morcegos estão contaminados com resíduos plásticos, seja analisando os órgãos sepadamente (pulmão, estômago e intestino) ou os sistemas (digestório e respiratório). Esse resultado sugere que existe uma contaminação abrangente e homogênea nos ambientes terrestres e em áreas urbanas e rurais, mostrando que

a contaminação por MPs está em todos os lugares. Com resíduos plásticos presentes tanto no ar, confirmado pela contaminação dos pulmões e do sistema respiratório, quanto sobre superfícies dos alimentos ingeridos, incluindo alimentos utilizados na dieta dos morcegos, confirmados pela contaminação do intestino e estômago, separadamente, e sistema digestório. As fezes não foram analisadas, o que leva à sugestão para a realização de trabalhos futuros para verificar a quantidade de resíduos plásticos que estão sendo eliminados. As nanopartículas também não foram analisadas pela falta de equipamentos adequados, mas como a contaminação de MPs foi observada no presente estudo, as partículas nanoplásticas provavelmente também seriam encontradas em uma quantidade maior.

6. Referências

(2021), T. jamovi project, 2021. No Title.

Aguiar, L.M.S., Bueno-Rocha, I.D., Oliveira, G., Pires, E.S., Vasconcelos, S., Nunes, G.L., Frizzas, M.R., Togni, P.H.B., 2021. Going out for dinner-The consumption of agriculture pests by bats in urban areas. PLoS One 16.

Ahrendt, C., Perez-Venegas, D.J., Urbina, M., Gonzalez, C., Echeveste, P., Aldana, M., Pulgar, J., Galbán-Malagón, C., 2020. Microplastic ingestion cause intestinal lesions in the intertidal fish Girella laevifrons. Mar. Pollut. Bull. 151.

Amaral-Zettler, L.A., Zettler, E.R., Mincer, T.J., 2020. Ecology of the plastisphere. Nat. Rev. Microbiol.

Amato-Lourenço, L.F., Carvalho-Oliveira, R., Júnior, G.R., dos Santos Galvão, L., Ando, R.A., Mauad, T., 2021. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. J. Hazard. Mater. 416.

Anderson, J.C., Park, B.J., Palace, V.P., 2016. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. Environ. Pollut.

Bertoldi, C., Lara, L.Z., Mizushima, F.A. d. L., Martins, F.C.G., Battisti, M.A., Hinrichs, R., Fernandes, A.N., 2021. First evidence of microplastic contamination in the freshwater of Lake Guaíba, Porto Alegre, Brazil. Sci. Total Environ. 759.

Boucher, J., Friot, D., 2017. Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources, Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources.

Brasil governemnt, 2010. Belo Monte. Energy 45–47.

Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines woldwide: Sources and sinks. Environ. Sci. Technol. 45.

Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway, T.S., Lowe, D.M., Thompson, R.C., 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, Mytilus edulis (L.). Environ. Sci. Technol. 42.

Camargo, M., Giarrizzo, T., Isaac, V., 2004. Review of the geographic distribution of fish fauna of the Xingu river basin, Brazil. Ecotropica 10.

Carlin, J., Craig, C., Little, S., Donnelly, M., Fox, D., Zhai, L., Walters, L., 2020. Microplastic accumulation in the gastrointestinal tracts in birds of prey in central Florida, USA. Environ. Pollut. 264.

Catarino, A.I., Thompson, R., Sanderson, W., Henry, T.B., 2017. Development and optimization of a standard method for extraction of microplastics in mussels by enzyme digestion of soft tissues. Environ. Toxicol. Chem. 36.

Chen, Q., Gao, J., Yu, H., Su, H., Yang, Y., Cao, Y., Zhang, Q., Ren, Y., Hollert, H., Shi, H., Chen, C., Liu, H., 2022. An emerging role of microplastics in the etiology of lung ground glass nodules. Environ. Sci. Eur. 34.

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Mar. Pollut. Bull.

Cordova, M.R., Nurhati, I.S., Shiomoto, A., Hatanaka, K., Saville, R., Riani, E., 2022. Spatiotemporal macro debris and microplastic variations linked to domestic waste and textile industry in the supercritical Citarum River, Indonesia. Mar. Pollut. Bull. 175, 113338.

Covernton, G.A., Pearce, C.M., Gurney-Smith, H.J., Chastain, S.G., Ross, P.S., Dower, J.F., Dudas, S.E., 2019. Size and shape matter: A preliminary analysis of microplastic sampling technique in seawater studies with implications for ecological risk assessment. Sci. Total Environ. 667.

da Costa Araújo, A.P., Malafaia, G., 2021a. Microplastic ingestion induces behavioral disorders in mice: A preliminary study on the trophic transfer effects via tadpoles and fish. J. Hazard. Mater. 401.

da Costa Araújo, A.P., Malafaia, G., 2021b. Microplastic ingestion induces behavioral disorders in mice: A preliminary study on the trophic transfer effects via tadpoles and fish. J. Hazard. Mater. 401.

Danopoulos, E., Twiddy, M., Rotchell, J.M., 2020. Microplastic contamination of drinking water: A systematic review. PLoS One.

De-la-Torre, G.E., 2020. Microplastics: an emerging threat to food security and human health. J. Food Sci. Technol.

de Carvalho, W.D., 2018. Amazonian bats, Journal of Mammalogy.

de Sá, L.C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T.L., Futter, M.N., 2018. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? Sci. Total Environ.

Devriese, L.I., van der Meulen, M.D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., Robbens, J., Vethaak, A.D., 2015. Microplastic contamination in brown shrimp (Crangon crangon, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. Mar. Pollut. Bull. 98.

Dodson, G.Z., Shotorban, A.K., Hatcher, P.G., Waggoner, D.C., Ghosal, S., Noffke, N., 2020. Microplastic fragment and fiber contamination of beach sediments from selected sites in Virginia and North Carolina, USA. Mar. Pollut. Bull. 151.

Doucet, C. V., Labaj, A.L., Kurek, J., 2021. Microfiber Content in Freshwater Mussels from Rural Tributaries of the Saint John River, Canada. Water. Air. Soil Pollut. 232.

Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Tassin, B., 2017. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. Environ. Pollut. 221.

Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., Tassin, B., 2015. Microplastic contamination in an urban area: A case study in Greater Paris. Environ. Chem. 12.

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., Tassin, B., 2016. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? Mar. Pollut. Bull. 104.

Fitzgerald, D.B., Sabaj Perez, M.H., Sousa, L.M., Gonçalves, A.P., Rapp Py-Daniel, L., Lujan, N.K., Zuanon, J., Winemiller, K.O., Lundberg, J.G., 2018. Diversity and community structure of rapids-dwelling fishes of the Xingu River: Implications for conservation amid large-scale hydroelectric development. Biol. Conserv. 222.

Gambardella, C., Morgana, S., Ferrando, S., Bramini, M., Piazza, V., Costa, E., Garaventa, F., Faimali, M., 2017. Effects of polystyrene microbeads in marine planktonic crustaceans. Ecotoxicol. Environ. Saf. 145.

Gasperi, J., Wright, S.L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F.J., Tassin, B., 2018a. Microplastics in air: Are we breathing it in? Curr. Opin. Environ. Sci. Heal.

Gasperi, J., Wright, S.L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F.J., Tassin, B., 2018b. ScienceDirect Microplastics in air : Are we breathing it in ? Curr. Opin. Environ. Sci. Heal. 1, 1–5.

Gauthier, C., Moran, E.F., 2018. Public policy implementation and basic sanitation issues associated with hydroelectric projects in the Brazilian Amazon: Altamira and the Belo Monte dam. Geoforum 97.

Ghosal, S., Chen, M., Wagner, J., Wang, Z.M., Wall, S., 2018. Molecular identification of polymers and anthropogenic particles extracted from oceanic water and fish stomach – A Raman micro-spectroscopy study. Environ. Pollut. 233.

Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., Faggio, C., 2018. Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. Environ. Toxicol. Pharmacol.

Heinlaan, M., Kasemets, K., Aruoja, V., Blinova, I., Bondarenko, O., Lukjanova, A., Khosrovyan, A., Kurvet, I., Pullerits, M., Sihtmäe, M., Vasiliev, G., Vija, H., Kahru, A., 2020. Hazard evaluation of polystyrene nanoplastic with nine bioassays did not show particle-specific acute toxicity. Sci. Total Environ. 707.

Huerta Lwanga, E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Salánki, T., Van Der Ploeg, M., Besseling, E., Koelmans, A.A., Geissen, V., 2016. Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for Lumbricus terrestris (Oligochaeta, Lumbricidae). Environ. Sci. Technol. 50.

Jenner, L.C., Rotchell, J.M., Bennett, R.T., Cowen, M., Tentzeris, V., Sadofsky, L.R., 2022. Detection of microplastics in human lung tissue using μFTIR spectroscopy. Sci. Total Environ. 831.

Jin, Y., Xia, J., Pan, Z., Yang, J., Wang, W., Fu, Z., 2018. Polystyrene microplastics induce

microbiota dysbiosis and inflammation in the gut of adult zebrafish. Environ. Pollut. 235.

Kaya, Y., Bacaksiz, A.M., Bayrak, H., Gönder, Z.B., Vergili, I., Hasar, H., Yilmaz, G., 2017. Treatment of chemical synthesis-based pharmaceutical wastewater in an ozonation-anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) system. Chem. Eng. J. 322.

Kunz, T.H., de Torrez, E.B., Bauer, D., Lobova, T., Fleming, T.H., 2011. Ecosystem services provided by bats. Ann. N. Y. Acad. Sci.

Lebreton, L.C.M., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J.W., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J., 2017. River plastic emissions to the world's oceans. Nat. Commun. 8.

Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., 2016. Microplastics in mussels along the coastal waters of China *. Environ. Pollut. 214, 177–184.

Li, L., Luo, Y., Li, R., Zhou, Q., Peijnenburg, W.J.G.M., Yin, N., Yang, J., Tu, C., Zhang, Y., 2020. Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. Nat. Sustain. 3.

Li, Z., Li, Q., Li, R., Zhou, J., Wang, G., 2021. The distribution and impact of polystyrene nanoplastics on cucumber plants. Environ. Sci. Pollut. Res. 28.

Li, Z., Li, R., Li, Q., Zhou, J., Wang, G., 2020. Physiological response of cucumber (Cucumis sativus L.) leaves to polystyrene nanoplastics pollution. Chemosphere 255.

Lian, J., Wu, J., Xiong, H., Zeb, A., Yang, T., Su, X., Su, L., Liu, W., 2020. Impact of polystyrene nanoplastics (PSNPs) on seed germination and seedling growth of wheat (Triticum aestivum L.). J. Hazard. Mater. 385.

Lusher, A., Hollman, P., Mandoza-Hill, J., 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper.

Mainea, J.J., Boylesa, J.G., 2015. Bats initiate vital agroecological interactions in corn. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 112.

Mateos-Cárdenas, A., Scott, D.T., Seitmaganbetova, G., van, van P., John, O.H., Marcel A.K., J., 2019. Polyethylene microplastics adhere to Lemna minor (L.), yet have no effects on plant growth or feeding by Gammarus duebeni (Lillj.). Sci. Total Environ. 689.

McCormick, A.R., Hoellein, T.J., London, M.G., Hittie, J., Scott, J.W., Kelly, J.J., 2016. Microplastic in surface waters of urban rivers: Concentration, sources, and associated bacterial assemblages. Ecosphere 7.

Mesquita, E., Isaac-Nahum, V., 2015. Traditional knowledge and artisanal fishing technology on the Xingu River in Pará, Brazil. Brazilian J. Biol. 75.

Neto, J.G.B., Rodrigues, F.L., Ortega, I., Rodrigues, L. dos S., Lacerda, A.L. d. F., Coletto, J.L., Kessler, F., Cardoso, L.G., Madureira, L., Proietti, M.C., 2020. Ingestion of plastic debris by commercially important marine fish in southeast-south Brazil. Environ. Pollut. 267.

Nuelle, M.T., Dekiff, J.H., Remy, D., Fries, E., 2014. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. Environ. Pollut. 184.

Oliveri Conti, G., Ferrante, M., Banni, M., Favara, C., Nicolosi, I., Cristaldi, A., Fiore, M.,

Zuccarello, P., 2020. Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. Environ. Res. 187.

Pauly, J.L., Stegmeier, S.J., Allaart, H.A., Cheney, R.T., Zhang, P.J., Mayer, A.G., Streck, R.J., 1998. Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue. Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev. 7.

Peel, M.C., Finlayson, B.L., Mcmahon, T.A., 2007. Updated world map of the K ¨ oppen-Geiger climate classification 1633–1644.

Pereira, L.C.C., Monteiro, M.C., Guimarães, D.O., Matos, J.B., da Costa, R.M., 2010. Seasonal effects of wastewater to the water quality of the caeté river estuary, brazilian Amazon. An. Acad. Bras. Cienc. 82.

Pereira, L.C.C., Sousa, N. do S. da S., Rodrigues, L.M. dos S., Monteiro, M.C., Silva, S.R.S. da, Oliveira, A.R.G. de, Dias, A.B.B., Costa, R.M. da, 2021. Effects of the lack of basic public sanitation on the water quality of the Caeté River estuary in northern Brazil. Ecohydrol. Hydrobiol. 21.

Ribeiro-Brasil, D.R.G., Brasil, L.S., Veloso, G.K.O., Matos, T.P. de, Lima, E.S. de, Dias-Silva, K., 2022. The impacts of plastics on aquatic insects. Sci. Total Environ. 813, 152436.

Ribeiro-Brasil, D.R.G., Torres, N.R., Picanço, A.B., Sousa, D.S., Ribeiro, V.S., Brasil, L.S., Montag, L.F. de A., 2020. Contamination of stream fish by plastic waste in the Brazilian Amazon. Environ. Pollut. 266.

Ribeiro, D.R.G., Faccin, H., Molin, T.R.D., de Carvalho, L.M., Amado, L.L., 2017. Metal and metalloid distribution in different environmental compartments of the middle Xingu River in the Amazon, Brazil. Sci. Total Environ. 605–606.

Rist, S., Carney Almroth, B., Hartmann, N.B., Karlsson, T.M., 2018. A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. Sci. Total Environ.

Roman, L., Lowenstine, L., Parsley, L.M., Wilcox, C., Hardesty, B.D., Gilardi, K., Hindell, M., 2019. Is plastic ingestion in birds as toxic as we think? Insights from a plastic feeding experiment. Sci. Total Environ. 665.

Russo, D., Ancillotto, L., Jones, G., 2018. Bats are still not birds in the digital era: Echolocation call variation and why it matters for bat species identification. Can. J. Zool.

Sang, W., Chen, Z., Mei, L., Hao, S., Zhan, C., Zhang, W. bin, Li, M., Liu, J., 2021. The abundance and characteristics of microplastics in rainwater pipelines in Wuhan, China. Sci. Total Environ. 755.

Santos, R.G., Andrades, R., Demetrio, G.R., Kuwai, G.M., Sobral, M.F., Vieira, J. de S., Machovsky-Capuska, G.E., 2020. Exploring plastic-induced satiety in foraging green turtles. Environ. Pollut. 265.

Schnitzler, H.U., Kalko, E.K.V., 2001. Echolocation by insect-eating bats. Bioscience 51, 557–569.

Schondube, J.E., Herrera-M, L.G., Martínez Del Rio, C., 2001. Diet and the evolution of digestion and renal function in phyllostomid bats. Zoology 104.

Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., Liebmann, B., 2019. Detection of Various Microplastics in Human Stool. Ann. Intern. Med. 171.

Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.U., Fürst, P., 2018. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. Water Res. 129.

Serranti, S., Gargiulo, A., Bonifazi, G., Toldy, A., Patachia, S., Buican, R., 2014. The Utilization of Hyperspectral Imaging for Impurities Detection in Secondary Plastics. Open Waste Manag. J. 3, 56–70.

Simmons, N.B., Cirranello, A.L., 2022. Bat Species of the World: A taxonomic and geographic database [WWW Document]. Bat Species World A Taxon. Geogr. database. URL https://batnames-org.translate.goog/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc

Sommer, F., Dietze, V., Baum, A., Sauer, J., Gilge, S., Maschowski, C., Gieré, R., 2018. Tire abrasion as a major source of microplastics in the environment. Aerosol Air Qual. Res. 18.

Su, L., Nan, B., Hassell, K.L., Craig, N.J., Pettigrove, V., 2019. Microplastics biomonitoring in Australian urban wetlands using a common noxious fish (Gambusia holbrooki). Chemosphere 228, 65–74.

Sun, X.D., Yuan, X.Z., Jia, Y., Feng, L.J., Zhu, F.P., Dong, S.S., Liu, J., Kong, X., Tian, H., Duan, J.L., Ding, Z., Wang, S.G., Xing, B., 2020. Differentially charged nanoplastics demonstrate distinct accumulation in Arabidopsis thaliana. Nat. Nanotechnol. 15.

Thompson, R.C., Swan, S.H., Moore, C.J., Vom Saal, F.S., 2009. Our plastic age. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.

Treitler, J.T., Heim, O., Tschapka, M., Jung, K., 2016. The effect of local land use and loss of forests on bats and nocturnal insects. Ecol. Evol. 6.

Truong, T.N.S., Strady, E., Kieu-Le, T.C., Tran, Q.V., Le, T.M.T., Thuong, Q.T., 2021. Microplastic in atmospheric fallouts of a developing Southeast Asian megacity under tropical climate. Chemosphere 272.

Verma, R., Vinoda, K.S., Papireddy, M., Gowda, A.N.S., 2016. Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review. Procedia Environ. Sci. 35.

Vethaak, A.D., Leslie, H.A., 2016. Plastic Debris is a Human Health Issue. Environ. Sci. Technol.

Villanueva, A., Eder, P., 2014. End-of-waste criteria for waste plastic for conversion, Luxemburg.

Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A.D., Winther-Nielsen, M., Reifferscheid, G., 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. Environ. Sci. Eur. 26.

Wang, C. qing, Wang, H., Fu, J. gang, Liu, Y. nian, 2015. Flotation separation of waste plastics for recycling-A review. Waste Manag. 41.

Wang, L., Nabi, G., Yin, L., Wang, Y., Li, S., Hao, Z., Li, D., 2021. Birds and plastic

pollution: recent advances. Avian Res.

Weitzel, S.L., Feura, J.M., Rush, S.A., Iglay, R.B., Woodrey, M.S., 2021. Availability and assessment of microplastic ingestion by marsh birds in Mississippi Gulf Coast tidal marshes. Mar. Pollut. Bull. 166.

Willis, K., Maureaud, C., Wilcox, C., Hardesty, B.D., 2018. How successful are waste abatement campaigns and government policies at reducing plastic waste into the marine environment? Mar. Policy 96.

Wilson, D.R., Godley, B.J., Haggar, G.L., Santillo, D., Sheen, K.L., 2021. The influence of depositional environment on the abundance of microplastic pollution on beaches in the Bristol Channel, UK. Mar. Pollut. Bull. 164, 111997.

Woods, M.N., Stack, M.E., Fields, D.M., Shaw, S.D., Matrai, P.A., 2018. Microplastic fiber uptake, ingestion, and egestion rates in the blue mussel (Mytilus edulis). Mar. Pollut. Bull. 137.

Zhang, Q., Xu, E.G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E.Y., Shi, H., 2020. A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure. Environ. Sci. Technol.

Zhou, D., Chen, J., Wu, J., Yang, J., Wang, H., 2021. Biodegradation and catalytic-chemical degradation strategies to mitigate microplastic pollution. Sustain. Mater. Technol.