



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS FLUTUANTES
EM RIOS URBANOS DOMINADOS POR MARÉ NA
REGIÃO NORTE DO BRASIL

Dissertação apresentada por:

GABRIEL POMPEU ROSA

Orientadora: Profa. Dra. Sury de Moura Monteiro (UFPA)

Belém-Pará

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS FLUTUANTES
EM RIOS URBANOS DOMINADOS POR MARÉ NA
REGIÃO NORTE DO BRASIL

Dissertação apresentada por:

GABRIEL POMPEU ROSA

Orientadora: Profa. Dra. Sury de Moura Monteiro (UFPA)

Belém-Pará

2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com
ISBDSistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

R788t Rosa, Gabriel Pompeu.
Transporte de resíduos sólidos flutuantes em rios urbanos
dominados por maré na região Norte do Brasil / Gabriel
Pompeu Rosa. — 2021.
52 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Sury de Moura Monteiro
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação
em Oceanografia, Belém, 2021.

1. Plástico. 2. Estimativa de Transporte . 3.
Poluição fluvial. 4. Maré. 5. Amazônia. I. Título.

CDD 363.728



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS FLUTUANTES
EM RIOS URBANOS DOMINADOS POR MARÉ NA
REGIÃO NORTE DO BRASIL

Dissertação apresentada por

GABRIEL POMPEU ROSA

Como requisito à obtenção de Grau de Mestre na área de Oceanografia Linha de Pesquisa em Avaliação e gestão de recursos aquáticos.

Data de Aprovação 07/07/2021

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Suci de Moura Monteiro-Orientadora
(Dra. em Oceanografia Ambiental-UFES)

Prof. Dr. Marcelo Rollnic
(Dr. Em Oceanografia-UFPE)

Prof. Dr. Fabian Sá
(Dr. em Geoquímica Ambiental-UFF)

Profa. Dra. Maria Christina Barbosa de Araújo
(Dra. Em Oceanografia-UFPE)

AGRADECIMENTOS

À Deus pela sua infinita misericórdia e por todas as bênçãos concedidas.

Aos meus familiares que sempre estiveram apoiando e mandando forças. Em especial aos meus pais Nivaldo e Sheila, que me ensinaram a nunca desistir, independentemente do tamanho do desafio.

A minha namorada e futura esposa Brenda, pelas conversas, leituras, comentários, correções e auxílios.

Um agradecimento especial a minha orientadora Dra. Sury de Moura, pela paciência e humanidade durante as inúmeras reuniões realizadas ao longo do mestrado, por quem tenho grande respeito e admiração.

A Universidade Federal do Pará, na figura de seus professores e colaboradores, com quem tive contato e de alguma forma contribuíram com o desenvolvimento da pesquisa. Aos pesquisadores do LAPMAR que auxiliaram o desenvolvimento das atividades durante as campanhas, em especial aos orientandos da Dra. Sury Acsa, Fabricio, Deise, Matheus, Fernando, Ramily, Gabrielle e Marcus que foram incansáveis durante as longas horas de campo.

Ao Observatório da Costa Amazônica que forneceu a infraestrutura e os dados de corrente e vazão utilizados.

Aos financiadores do projeto que permitiram o desenvolvimento da pesquisa e concederam uma bolsa de estudo. E aos membros da banca examinadora pelas suas considerações.

“A educação exige os maiores cuidados,
porque influi sobre toda a vida”
Sêneca

RESUMO

Os rios que recortam metrópoles são considerados como importantes caminhos para que os resíduos gerados nos continentes sejam transportados até os oceanos. As estimativas dos fluxos de resíduos nos rios da zona costeira Amazônica permanecem incertas devido à influência de processos hidrodinâmicos (maré, correntes e vazão), e sobretudo, a falta de dados sobre o tipo e quantidade de resíduos sólidos flutuantes nos rios. Portanto, o principal objetivo deste estudo foi quantificar e estimar os fluxos de resíduos flutuantes em diferentes escalas temporais em rios dominados por maré da zona costeira amazônica. A quantificação visual ocorreu ao longo de 12 horas (6 às 18h) nos estágios de maré enchente e vazante, nos períodos seco e chuvoso, nos rios Acará, Guamá, baía do Guajará, Tucunduba e Tamandaré. A estimativa de transporte dos resíduos nos diferentes estágios de maré e períodos sazonais foi calculada considerando a quantidade de resíduos em um intervalo de tempo (hora, mês e ano). Um total de 19.654 resíduos sólidos foram quantificados nos rios estudados, sendo 71% de materiais plásticos. Os resíduos dos rios que recortam Belém (Tucunduba e Tamandaré) são exportados para os rios que cercam a capital, enquanto que nesses rios, os resíduos apresentam fluxo bidirecional, sugerindo o aprisionamento refletindo a influência dos processos hidrodinâmicos (corrente de maré e vazão). Este estudo apresenta a primeira estimativa de transporte em rios da costa paraense com base em observações reais, indicando uma estimativa de transporte anual que varia entre 3 e 549 Toneladas/ano.

Palavras-chave: plástico; estimativa de transporte; poluição fluvial; maré; Amazônia.

ABSTRACT

The rivers that cut through metropolises are considered important ways for the waste generated on the continents to be transported to the oceans. Estimates of waste flows in rivers in the Amazon coastal zone remain uncertain due to the influence of hydrodynamic processes (tide, currents and flow), and above all, the lack of data on the type and amount of solid waste floating in the rivers. Therefore, the main objective of this study was to quantify and estimate the fluctuating waste fluxes at different time scales in tidal-dominated rivers of the Amazonian coastal zone. Visual quantification took place over 12 hours (6 to 6 pm) in the flood and ebb tide stages, in the dry and rainy periods, in the rivers Acará, Guamá, Guajará, Tucunduba and Tamandaré. The estimate of waste transport in different tidal stages and seasonal periods was calculated considering the amount of waste in a time interval (hour, month and year). A total of 19,654 solid waste was quantified in the rivers studied, 71% of which was plastic materials. The residues from the rivers that cut through Belém (Tucunduba and Tamandaré) are exported to the rivers that surround the capital, while in these rivers, the residues present a bidirectional flow, suggesting imprisonment reflecting the influence of hydrodynamic processes (tidal current and flow). This study presents the first estimate of transport in rivers on the coast of Pará based on real observations, indicating an estimate of annual transport that varies between 3 and 549 tons/year.

Keywords: plastic; transport estimation; river pollution; tide; Amazon

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1-Localização da rede de observação de resíduos na região fluvio-estuarina P1(Acará), P2(Guamá-Alça), P3(Guamá-Foz), P4(Baía) e na rede de drenagem (Tamandaré e Tucunduba) no município de Belém/Pará. 5
- Figura 2-Posição onde o observador ficou alocado no rio Tucunduba durante as 12 horas de observação..... 10
- Figura 3-Planilha utilizada a cada 30 minutos para quantificação durante as 12 horas de observação de resíduos sólidos nos rios Tucunduba e Tamandaré..... 11
- Figura 4-Embarcação utilizada para visualização dos resíduos na região fluvio-estuarina durante as campanhas realizadas no período seco e chuvoso..... 12
- Figura 5-Posicionamento da equipe durante as 12 horas de análise visual dos resíduos na região fluvio-estuarina. 13
- Figura 6-Planilha utilizada a cada 30 minutos para quantificação durante as 12 horas de observação de resíduos sólidos nos rios Guamá, Acará e Baía do Guajará..... 14
- Figura 7-Quantidade dos tipos de resíduos encontrados nos rios Tucunduba e Tamandaré durante o período seco e chuvoso. A) quantidade dos tipos de resíduos. B) principais categorias de resíduos. 16
- Figura 8-Quantidade de resíduos nos rios Tucunduba e Tamandaré durante marés de sizígia e quadratura no período seco e chuvoso..... 17
- Figura 9-Quantidade de resíduos nos rios Tucunduba e Tamandaré nos diferentes estágio de maré enchente e vazante, na sizígia (A) e quadratura (B) dos período seco e chuvoso. 18
- Figura 10- Quantidade dos tipos de resíduos observados na região fluvio-estuarina durante o período seco e chuvoso. A) Quantidade dos tipos de resíduos observados. B) Principais categorias de resíduos observados. 19
- Figura 11-Quantidade de resíduos observados nos períodos seco e chuvoso nos rios Acará (P1), Guamá/alça (P2), Guamá/Foz (P3) e Baía do Guajará (P4). 20
- Figura 12- Quantidade de resíduos observados nos diferentes estágios de maré (enchente e vazante) nos períodos seco e chuvoso dos rios Acará (P1), Guamá/alça (P2), Guamá/Foz (P3) e Baía do Guajará (P4). 21
- Figura 13-Tipos de resíduos mais frequentes encontrados nos rios dominados por marés (Acará, Guamá/Alça, Guamá/Foz, baía do Guajará, Tucunduba e Tamandaré) nos períodos estudados..... 22
- Figura 14- Estimativa do transporte de resíduos sólidos flutuantes durante um ciclo de maré (enchente e vazante) e transporte residual (itens/hora) nos rios Tucunduba, Tamandaré, Acará, Guamá e baía do Guajará no período seco e chuvoso..... 25

Figura 15- Fontes de resíduos a partir de centros urbanos, locais de aprisionamento próximos às margens e a áreas vegetadas e transporte bidirecional que influenciam a dispersão e/ou retenção de resíduos sólidos flutuantes nos rios dominados por marés estudados.	26
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Fases da maré e período sazonal que foram realizadas as análise visuais dos resíduos sólidos nos rios Tucunduba e Tamandaré.	10
Tabela 2- Estimativas de transporte de resíduos flutuantes nos rios Tucunduba e Tamandaré durante os períodos seco e chuvoso.	23
Tabela 3- Estimativas de transporte de resíduos nos rios Acará, Guamá e baía do Guajará durante os períodos seco e chuvoso.	24
Tabela 4- Estimativa de transporte em Toneladas de matérias plásticas (mês, semestre e anual) e vazão média residual (m^3/s) medida in situ nos rios Acará (P1), Guamá (P2 e P3), baía do Guajará (P4), Tucunduba e Tamandaré durante o período seco e chuvoso.	27
Tabela 5- Comparação entre as estimativa de transporte de plástico T/ano (toneladas/ano) para os rios dominados por maré em diferentes regiões.	33

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
EPÍGRAFE	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1 ÁREA DE ESTUDO	5
3.1.1 Caracterização dos aspectos geoambientais	7
3.1.2 Aspectos sociais e econômicos	7
4.2 COLETA DE DADOS	9
4.2.1 Amostragem em ponto fixo	9
4.2.2 Amostragem em transectos	12
4.2.3 Dados hidrodinâmicos	13
4.3 ESTIMATIVA DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS.....	14
4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS E ESTATÍSTICA	15
5 RESULTADOS	16
5.1 RESÍDUOS NOS RIOS TUCUNDUBA E TAMANDARÉ	16
5.2 RESÍDUOS SÓLIDOS NA REGIÃO FLUVIO-ESTUARINA	18
5.3 TIPOS DE RESÍDUOS MAIS ENCONTRADOS NOS RIOS	21
5.4 ESTIMATIVAS DO TRANSPORTE DE RESÍDUOS NOS RIOS	22
6 DISCUSSÃO	28
7 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos consistem em materiais sólidos resistentes e que são conhecidos popularmente como “lixo”. São gerados por residências (55-80%) e áreas comerciais ou de mercado (10-30%) (Miezah *et al.* 2015) e geralmente incluem materiais como plásticos, vidros, metais, restos de alimentos, roupas e papel (Yukalang *et al.* 2018).

A produção mundial de resíduos supera as taxas de crescimento demográfico (Lima 2015) e em 2016, aumentou 0,62 bilhões de toneladas (Mian *et al.* 2017), como consequência há um incremento na quantidade de resíduos sólidos em ambientes terrestres e marinhos (Akdogan & Guven 2019). A elevada produção dificulta o gerenciamento e a delimitação de áreas para destinação (Lima 2015), o que condiciona diversos problemas ambientais em escala local, como o entupimento de bueiros, proliferação de doenças, e em escala regional e global, como a poluição costeira e marinha (Vikas & Dwarakish 2015, Silva *et al.* 2018).

A poluição costeira e marinha por resíduos, principalmente por plástico, tem sido apontada como “um dos maiores desafios ambientais da atualidade” (Schwarz *et al.* 2019). Pois, quando esses materiais estão presentes nos ambientes marinhos causam problemas econômicos, principalmente em áreas que dependem da pesca e turismo, e problemas ecológicos, como a ingestão por organismos marinhos (Zhou *et al.* 2016).

Pesquisa realizada por Moss *et al.* (2021) identificaram a presença de materiais plásticos em todos os rios estudados na África sendo estimado um transporte de 2.000 itens por dia. Ainda, estudos conduzidos por Zeri *et al.* (2018) detectaram uma densidade média variando entre 251 a 600 resíduos macro plásticos por Km² no mar Adriático na costa da Itália, Croácia, Grécia e Eslovênia. Na região sudeste do Brasil, 291 itens foram amostrados em uma região estuarina (Possatto *et al.* 2015).

Os rios são considerados um dos principais caminhos para que os resíduos do continente atinjam o oceano (Jambeck *et al.* 2015, Schmidt *et al.* 2017). Mundialmente, os rios urbanos são “hotspots” de poluição por plásticos (Haberstroh *et al.* 2020), e estes ainda são menos entendidos que o sistema marinho (Bletter *et al.* 2018). Havendo uma limitada produção científica voltada para estudos em regiões de água doce (Blettler *et al.* 2018), já que, entre 1980 e 2018 apenas 13% dos estudos mundiais tiveram esse foco, mostrando a mínima atenção que os rios recebem (Al-Zawaidah *et al.* 2021).

Além disso, as estimativas globais não consideram a influência da maré nos processos de transferência dos resíduos dos rios para o mar (Van Emmerik *et al.* 2020).

Portanto, o papel de rios urbanos dominados por maré no transporte de resíduo do continente para o oceano não é totalmente compreendido.

No Brasil cerca de 25% da população reside em zonas costeiras (Ibge 2011) e 18% dos municípios da zona costeira estão classificados com “alto risco” decorrente da baixa coleta e destinação adequada dos resíduos sólidos (Oliveira & Turra 2015).

No norte do país, a região de Belém do Pará possui uma população estimada de 2 milhões de habitantes (Ibge 2021) e péssimos índices de saneamento (95º posição no ranking nacional) os quais podem estar fortemente associados a poluição hídrica da região. Além disso, a rede fluvio-estuarina que margeia esta capital é influenciada por uma hidrodinâmica intensa, com fortes correntes de maré (Neves *et al.* 2014) e dominada por um regime de mesomarés (Gregório 2009a). Considera-se que estas características configuram condições ideais para que os resíduos sólidos sejam transportados até os oceanos (Galgani *et al.* 2015).

Embora seja reconhecido que os rios dominados por marés da zona costeira amazônica, possam ser fontes importantes de resíduos sólidos para o ambiente oceânico (Lebreton *et al.* 2017, Mai *et al.* 2020), considerando ainda, que o rio Amazonas é um dos 20 rios que mais contribuem para o aporte de plástico no oceano (Lebreton *et al.* 2017), a maioria dos estudos relevantes na região concentraram-se na quantificação de resíduos em praias (Martinelli filho & Monteiro 2019, Andrades *et al.* 2020, Novaes *et al.* 2020), associados a vegetação (Gonçalves *et al.* 2020) ou ingeridos por organismos (Morais *et al.* 2020, Ribeiro-Brasil *et al.* 2020).

Os rios urbanos dominados por marés são áreas desafiadoras de serem estudadas quando o foco é o entendimento do transporte e/ou a acumulação de resíduos sólidos, principalmente porque a influência hidrodinâmica, a presença de vegetação nas margens (Gonçalves *et al.* 2020), o tipo de uso do ambiente (Rech *et al.* 2014, Brugue *et al.* 2018), o contingente populacional (Mai *et al.* 2020) e vários outros aspectos podem influenciar este entendimento (Al-Zawaidah *et al.* 2021). Por isso, as estimativas atuais dos modelos de transporte de plásticos são altamente incertas, principalmente devido à falta de dados de campo (Lebreton *et al.* 2017).

Estudos que quantificam os resíduos flutuantes na região fluvio-estuarina dominada por maré, utilizando dados coletados *in situ* ainda são escassos na costa amazônica. Assim, este estudo contempla uma abordagem pioneira utilizando metodologia de observação para quantificar e estimar os fluxos de resíduos flutuantes em

diferentes escalas temporais em rios dominados por maré. E as hipóteses que serão testadas são:

-Os rios apresentam diferença no tipo e na quantidade de resíduos em diferentes escalas temporais (ciclo de maré e sazonalidade);

-O plástico será a categoria de resíduo sólido mais abundante nos rios urbanos estudados, dada sua onipresença (Barnes *et al.* 2009);

-A maior quantidade de resíduos ocorrerá durante eventos extremos, como marés de sizígia no período chuvoso (alta vazão fluvial) e também haverá o maior transporte especialmente durante a vazante;

-As diferenças paisagísticas dos rios urbanos (Tucunduba e Tamandaré) promovem diferenças na quantidade e tipos de resíduos transportados.

Por fim, Belém depende fortemente dos ambientes fluviais, e os dados sobre a poluição aquática por resíduos sólidos são necessários para melhorar a compreensão e aplicação de medidas solucionadoras. Portanto, a caracterização dos resíduos em rios pode, por sua vez, ser usada para otimizar estratégias de prevenção, mitigação, sensibilização e despoluição.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Quantificar e estimar os fluxos de resíduos flutuantes em diferentes escalas temporais em rios dominados por maré da zona costeira amazônica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar os resíduos sólidos transportados nos rios urbanos dominados por marés;
- Testar se ocorre diferença na quantidade de resíduos durante as mudanças sazonais e ciclo de maré;
- Verificar se as diferenças nas características paisagísticas dos rios urbanos interferem na quantidade de resíduo;
- Comparar os tipos de resíduos transportados pelos diferentes rios urbanos dominados por maré.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida na região fluvio-estuarina, constituída pela baía do Guajará, rio Guamá, rio Acará e nos rios Tamandaré e Tucunduba do município de Belém do Pará (Figura 1), localizada na região Norte do Brasil.

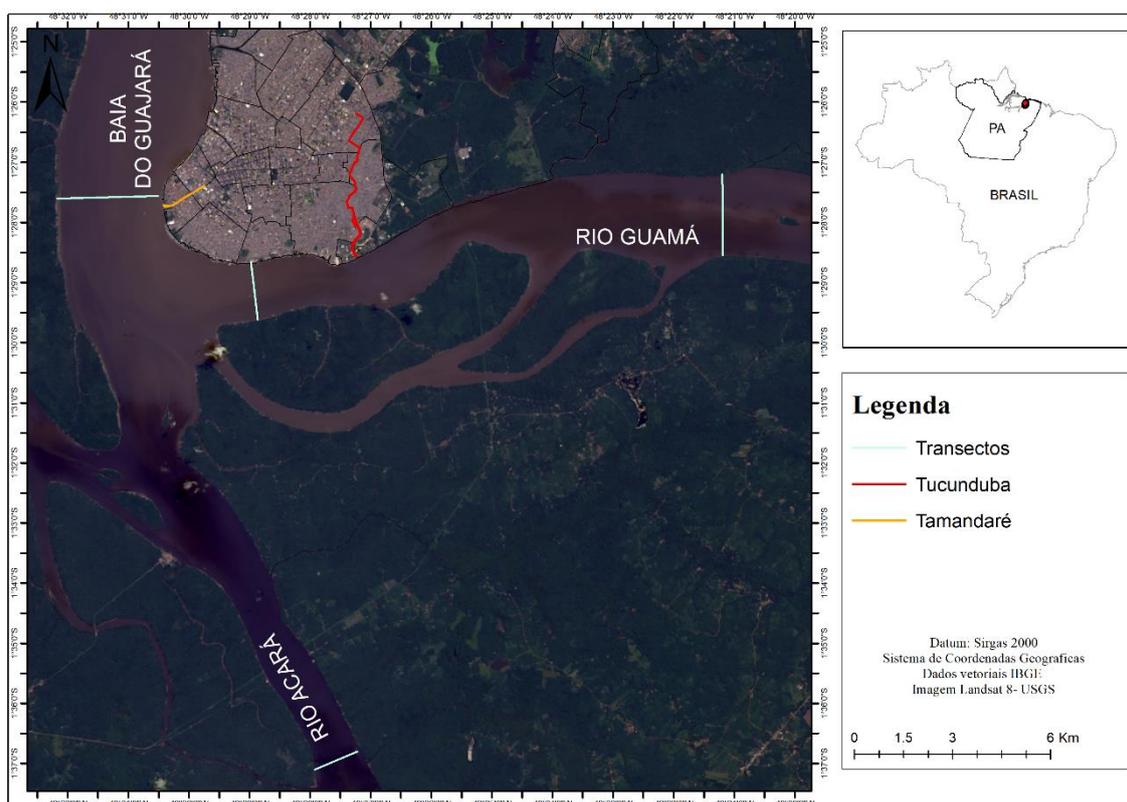


Figura 1-Localização da rede de observação de resíduos na região fluvio-estuarina P1(Acará), P2(Guamá-Alça), P3(Guamá-Foz), P4(Baía) e na rede de drenagem (Tamandaré e Tucunduba) no município de Belém/Pará.

A rede de amostragem compreende quatro transectos localizados na região fluvio-estuarina e dois rios que recortam o município.

A baía do Guajará está localizada a aproximadamente 100 km do oceano Atlântico, com aproximadamente 30 km de extensão e 4 km de largura, e recebe contribuição hídrica dos rios Acará e Guamá (Santos *et al.* 2018).

A região da baía está inserida em um cenário altamente dinâmico e de energia mista, visto que apresenta elevada interação entre as correntes de marés, correntes fluviais e o regime de ondas (Gregório 2009b).

O rio Guamá possui cerca de 84 km de extensão e 2 km de largura e margeia a cidade de Belém pelo Sul e constitui, juntamente com o rio Acará, as principais fontes de

águas fluviais da baía do Guajará (Santos *et al.* 2012) que são dominadas por mesomarés semidiurnas com alcance médio de 3 metros (Rodrigues *et al.* 2018).

O rio Acará faz parte do município de mesmo nome, que está situado na mesorregião do nordeste paraense e microrregião de Tomé-Açu e possui uma população de 55.591 habitantes (Ibge 2019). Possui cerca de 900km de extensão e 500 m de largura, sendo navegável em quase toda sua extensão.

Os rios Guamá, Acará e a baía do Guajará são influenciados por regimes de mesomarés e atingem 3,6 m em condições de sizígia e por estar em uma área de domínio fluvial sob impactos de marés, a vazante dura mais tempo que a enchente, principalmente nos períodos de sizígia (Gregório & Mendes 2009b) e apresenta características semidiurnas que são observadas pelos intervalos periódicos de aproximadamente 6 horas entre a preamar da baixa-mar (Araújo 2018).

A baía do Guajará e o rio Guamá são parte integrante do sistema fluvio-estuarino da Amazônia e dada a proximidade que apresentam com o município de Belém, acabam sendo a principal fonte de descarte do esgoto gerado no município, que em sua maior parte não recebe tratamento adequado (Rodrigues *et al.* 2018).

- Tamandaré

O Tamandaré está inserido na bacia hidrográfica da Tamandaré, cuja dimensão apresenta uma área de 2,31 km², sendo a terceira menor do município (Belém 2014). O rio abrange parte dos bairros da Cidade Velha, Batista Campos e Campina, possui 1.120 metros de comprimento, 4 metros de largura e 2,5 metros de profundidade e exutório na Baía do Guajará (Mácola *et al.* 2017).

Apresenta ainda uma área total de 1,74 km² e uma área alagável de 0,63 km², o equivalente a 36,21% de sua área total, ressaltando que apresenta predominância de área comercial e residencial (Paiva *et al.* 2012).

- Tucunduba

A bacia hidrográfica do Tucunduba possui cerca de 14.700 km² e é a segunda maior bacia de Belém. O rio Tucunduba, que apresenta 3,6 quilômetros de extensão (Figueiredo *et al.* 2002), aproximadamente 30m de largura e é conhecido popularmente como “igarapé”. Trata-se de um importante curso d’água na dinâmica da população da capital paraense, uma vez que recorta seis bairros da cidade, tendo sua nascente no bairro do Marco e sua foz na Universidade Federal do Pará, localizada no bairro do Guamá.

Existem aproximadamente 198.350 habitantes e a bacia possui 44% de sua área com cota inferior a 4m, localizadas em uma planície de inundação (Silva Júnior 2018)

As obras de engenharia realizadas na bacia do Tucunduba alteraram consideravelmente os quesitos naturais, o qual passou a ter classificação urbana devido a canalização e retificação (Silva 2016). Contudo, o Tucunduba, apresenta na sua foz características naturais, com presença de planícies de inundação vegetadas e margem pouco urbanizada.

3.1.1 Caracterização dos aspectos geoambientais

Devido aos pontos de observação das drenagens fazerem parte de vários bairros de Belém, foi realizada uma caracterização do município como um todo.

A parte continental de Belém é constituída por 14 bacias (Reduto, Una, Estrada Nova, Tamandaré, Tucunduba, Aurá, Murutucum, Val-de-Cães, Matafome, Ariri, Cajé, Paracuri, Anani e Outeiro) conforme a divisão topográfico-administrativa definida pela CODEM (BELÉM 2014).

Belém apresenta clima quente e úmido com temperatura média de 26° C, precipitação média anual de 3000 mm e precipitações diárias maiores que 25 mm (Campos *et al.* 2014). Além de possuir uma estação menos chuvosa e outra chuvosa bem definida, sendo este iniciado em dezembro e termina em maio (Silva Júnior 2018).

A topografia da cidade apresenta-se plana e baixa, resultando de uma superfície acidentada com poucas elevações. Sua geomorfologia é classificada em quatro níveis diferentes de superfície: os planaltos; os tabuleiros; os terraços; e, as planícies. Foram constituídas por restos da Formação Barreiras e terrenos do Quaternário Subatual e do Recente (Soares *et al.* 2018).

Já em relação à sua cobertura vegetal, o município apresenta apenas 15% da cobertura vegetal original, onde a maior parte remanescente na cidade faz parte da Floresta Ombrófila Densa. Ainda, encontra-se principalmente nas áreas com níveis topográficos mais baixos, geralmente são alagadas, a floresta de igapó, como é o caso do rio Tucunduba (Matos 2010).

3.1.2 Aspectos sociais e econômicos

A cidade de Belém tem uma população estimada em 2020 de 1.499.641 habitantes, sendo o 12º município mais populoso do Brasil. Apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,746 (Ibge 2018).

Segundo Montenegro (2011) está entre as regiões metropolitanas mais pobres do Brasil, possuindo economia voltada para o comércio e serviços, com renda per capita de R\$ 853,82 reais e uma taxa de pobreza da população de 18,2 % (Gonçalves *et al.* 2016).

A região apresenta dados preocupantes em relação ao saneamento, segundo o Instituto Trata Brasil (2019) possui apenas 12,99 % das residências com coleta de esgoto e 71% com abastecimento de água. Dados estes que atribuíram a décima posição no ranking das 20 piores cidades brasileiras em saneamento.

3.2 COLETA DE DADOS

A análise visual dos resíduos sólidos flutuantes foi baseada em estudos desenvolvidos no Reino Unido por Jiménez *et al.* (2019), que utilizou o guia europeu para classificar os resíduos devido ao rigor com que o assunto é abordado e das vastas pesquisas relacionadas a problemática dos resíduos sólidos em regiões fluviais.

A metodologia foi adaptada para região, considerando primeiramente que o período de análise ocorresse ao longo de um ciclo de maré. Contudo como a análise visual depende da iluminação natural, a amostragem ocorreu durante 12 horas (6h às 18h) sendo subdividida em intervalos de 30 minutos, totalizando 24 registros ininterruptos, com dados durante a maré enchente e vazante. Essa subdivisão foi adotada para facilitar as interpretações e os cálculos de cargas: 1) no ciclo de maré (enchente e vazante); 2) na fase de maré (sizígia e quadratura); 3) e na sazonalidade climática (seco e chuvoso).

Outra adaptação é quanto a classificação das 20 categorias presentes no guia europeu (Tabela 2). Para este trabalho, incluiu-se alguns itens que não estão inseridos na classificação europeia, por exemplo móvel ou fragmentos de móveis, pneus, madeiras processadas, aerossóis e carotes (recipientes utilizados para armazenar combustível nas embarcações), visualizados durante a campanha piloto e baseado no estudo de Santos (2018).

Os itens de resíduos plásticos cuja identificação foi impossível em virtude da fragmentação, foram incluídos na categoria “fragmentos/pedaços de plástico” (itens de 2 até 20cm). Como as amostragens ocorreram em rios de diferentes larguras, adotou-se duas metodologias, sendo que os rios com pequena largura (Tucunduba e Tamandaré) as observações foram realizadas em pontos fixos, enquanto que em rios mais largos (Acará, Guamá e baía do Guajará) foram realizadas em transectos.

3.2.1 Amostragem em ponto fixo

As observações dos resíduos no Tucunduba ocorreram em uma ponte (≤ 3 m acima da superfície da água) que fica situada em sua foz, dentro da Universidade Federal do Pará (Figura 2). No Tamandaré a visualização dos resíduos ocorreu na sua foz, ao longo de sua margem esquerda (≤ 1 m acima da superfície da água).

As análises visuais dos resíduos sólidos nos rios Tucunduba e Tamandaré ocorreram uma única vez durante 12 horas (enchente e vazante), das fases de marés de sizígia e de quadratura e nos períodos sazonais seco e chuvoso (Tabela 1).

Tabela 1-Fases da maré e período sazonal que foram realizadas as análise visuais dos resíduos sólidos nos rios Tucunduba e Tamandaré.

LOCAL	FASE DA MARÉ	PERÍODO SAZONAL	MÊS/ANO
Rios Tucunduba e Tamandaré	Sizígia	Seco	Outubro/2019
	Quadratura	Seco	Novembro/2020
	Sizígia	Chuvoso	Janeiro/2020
	Quadratura	Chuvoso	Janeiro/2020

Como o período de análise é extenso (12h), adotou-se duas duplas de observadores para realizar a quantificação dos resíduos em dois turnos diferentes (manhã e tarde), sendo que um observador é responsável pela quantificação e identificação dos resíduos e outro pelos registros em planilhas.

A quantificação foi realizada em função do estágio da maré, assim durante a maré enchente o observador se posicionava em direção a jusante (foz) (Figura 2). Todos os itens flutuantes que eram visíveis (> 5 cm), independentemente do tamanho, foram registrados (Figura 3).

Como os rios não apresentam larguras maiores que 20m em sua foz, os observadores tinham campo de visão suficiente para observar os resíduos transportados em superfície de uma margem até a outra.



Figura 2-Posição onde o observador ficou alocado no rio Tucunduba durante as 12 horas de observação.

Data		(0-30Minutos)		Hora Inicio	
Maré () Sизigia () Quadratura				Hora Fim	
Período Sazonal () Seco () Transicional Chuvoso		Ponto de Amostragem			
Visibilidade () Excelente () Boa () Razoável () Ruim		Observador			
EVENTO		Início	Fim	Quantidade	Registro Fotográfico
			Aerossóis		
			Artigos de Higiene Pessoal		
			Balão		
			Brinquedos		
			Canudinhos		
			Carote		
			Cigarro		
			Embalagens/rótulo de Comida		
			Garrafa de Vidro		
			Garrafa Plástica		
			Latas		
			Madeira Processada		
			Material de Pesca		
			Móveis ou Fragmentos móv.		
			Outras embalagens		
			Palito de Picolé		
			Pedaços pequenos de plástico		
			Pneu		
			Pratos e Copos		
			Recip. e/ou fragmentos (Isopor)		
			Saco de Lixo		
			Sacola Plástica		
			Tampa de Garrafa		
			Tampas de Embalagens		
			Utensílios (garfo, Colher e faca)		
			Vasilhas		
			Vestimenta		
			Outros		
EVENTO					
O-Mudança de observador		*OBS:			
M- Mudança ambiental					

Figura 3-Planilha utilizada a cada 30 minutos para quantificação durante as 12 horas de observação de resíduos sólidos nos rios Tucunduba e Tamandaré.

3.2.2 Amostragem em transectos

A análise visual dos resíduos sólidos (> 5 cm) na região fluvio-estuarina ocorreu durante 12 horas (enchente e vazante). As observações foram realizadas somente na fase de maré sizígia, durante o período seco (outubro de 2019) e chuvoso (janeiro de 2020).

Para análise visual dos resíduos na região fluvio-estuarina que incluem a baía do Guajará (3km), rio Guamá (2,5km) e rio Acará (1,5km) foram realizados transectos em uma embarcação (Figura 4). Um transecto representa a ida e volta de uma margem até outra.

Devido a largura dos rios estudados e o tempo de navegação em cada transecto (entre 15 a 30 minutos), o transecto realizado em cada rio foi segmentado em margem direita, meio e margem esquerda, com a orientação em direção a foz. Essa segmentação foi realizada considerando a profundidade do rio, e também a intensidade e direção de corrente, através de dados coletados in situ.



Figura 4-Embarcação utilizada para visualização dos resíduos na região fluvio-estuarina durante as campanhas realizadas no período seco e chuvoso.

Fonte: (Lapmar 2020).

A análise visual foi realizada por uma equipe de três observadores que quantificavam os resíduos sólidos flutuantes. Os observadores se posicionaram na frente da embarcação, um em cada borda (Figura 5), permitindo um melhor campo de visão.

Foram usados binóculo e câmera fotográfica com aproximação de 18 vezes. O binóculo era utilizado para facilitar a identificação de pequenos resíduos (> 5cm) e os registros fotográficos para ajudar na quantificação de resíduos aglomerados. Foi assumido que sem o auxílio do binoculo a detecção e eficiência na quantificação dos itens maiores que 5 cm, foi dentro de até 10 m ao lado da embarcação. Observações

semelhantes foram realizadas por Zeri *et al.* (2018) no mar Adriático e estimaram que 10 m era sua largura de observação.

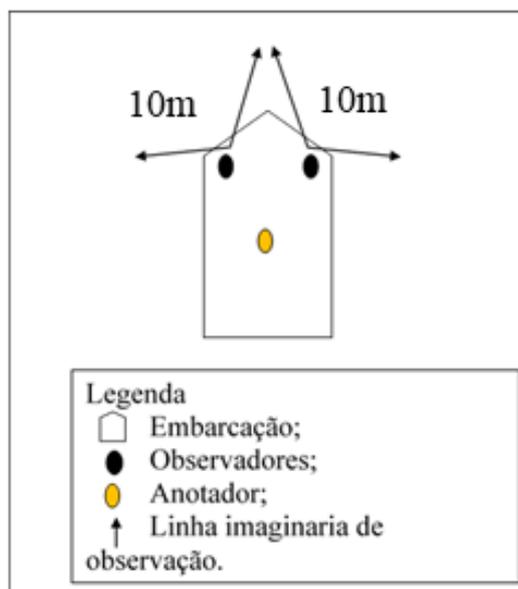


Figura 5-Posicionamento da equipe durante as 12 horas de análise visual dos resíduos na região fluvio-estuarina.

3.2.3 Dados hidrodinâmicos

Os dados de maré para os rios Tucunduba e Tamandaré foram disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DNH). Os dados de intensidade e direção das correntes na região fluvio-estuarina foram amostrados, tratados e disponibilizados pelo Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Marinho (LAPMAR-UFPA). A amostragem destes ocorreu de forma simultânea no transectos a partir da utilização de perfilador acústico de corrente (Acoustic Doppler Current- ADCP) modelo Workhorse Rio Grande de 1200 kHz da RD Instrumente, acoplado a uma embarcação de médio porte.

O ADCP foi configurado para realizar medições a cada 0.5 segundos (2Hz), com blank de 0.25 metros, células de 0.5 metros e em modo Bottom Track (Orientado para baixo). Durante a coleta, a leitura de dados foi programada e controlada em tempo real com o uso do software WinRiverII. Vale ressaltar que todas as estações de amostragem foram posicionadas através de um GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Data (0-30 Minutos)		Hora início			
Maré () Sizigia () Quadratura		Hora fim			
Visibilidade () Excelente () Boa () Razoável () Ruim		Ponto de Amostragem			
Beaufort () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6		Observador			
EVENTO	Início	Fim	Quantidade		Registro Fotográfico
			Direita	Meio	
		Aerossóis			
		Artigos de			
		Balão			
		Brinquedos			
		Canudinhos			
		Carote			
		Cigarro			
		Embalagen			
		Garrafa de			
		Garrafa			
		Latas			
		Madeira			
		Material de			
		Móveis ou			
		Outras			
		Palito de			
		Pedaços			
		Pneu			
		Pratos e			
		Recip. e/ou			
		Saco de			
		Sacola			
		Tampa de			
		Tampas de			
		Utensílios			
		Vasilhas			
		Vestimenta			
		Outros			
EVENTO					
O-Mudança de observador		*OBS:			
M- Mudança ambiental					

Figura 6-Planilha utilizada a cada 30 minutos para quantificação durante as 12 horas de observação de resíduos sólidos nos rios Guamá, Acará e Baía do Guajará.

3.3 ESTIMATIVA DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS

Seguindo a metodologia aplicada por Jiménez *et al.* (2019), considerou-se para a estimativa de transporte a quantidade de resíduos observados divididos pelo tempo de observação. Contudo, como a área de estudo é influenciada pela maré, considerou-se duas adaptações para esta metodologia proposta: a primeira é relativa ao tempo de amostragem (a cada 30 minutos durante 12 horas) totalizando 24 registros; a segunda considera os diferentes períodos (enchente e vazante, seco e chuvoso).

Assim, a estimativa de resíduos transportados foi calculada para os momentos de enchente e vazante considerando (itens observados/tempo de maré), onde o fluxo de resíduo na direção a jusante (vazante) é considerado positivo e o fluxo em direção a montante (enchente) é negativo. Como a região apresenta assimetria de maré (vazante > enchente), a estimativa de transporte foi calculada considerando o tempo de enchente (5 horas) e o tempo de vazante (7 horas). A estimativa de resíduos transportados

durante um ciclo de maré (transporte residual) considera a diferença entre a carga enchente e vazante, fornecendo itens/hora.

A estimativa residual diária representa os itens que passam no ponto de observação durante um dia (24 horas) em estágios de marés diferentes (transporte residual x 24h), fornecendo itens/dia. A estimativa mensal representa os itens transportados pelos rios urbanos para os períodos de coleta (seco e chuvoso) e é calculada através da equação (carga residual x 24h x 30d) e fornecem itens/mês.

Estimativas de transporte apenas de resíduos plásticos nos rios dominados por maré foram calculadas assumindo o fator de conversão de itens em massa de 3,2g proposta por Van Emmerik *et al.* (2018), considerando as vazões medidas in situ em cada rio estudado.

3.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS E ESTATÍSTICA

Os dados de resíduos sólidos obtidos por meio da análise visual foram tabulados no software Excel 2013 e foi analisada a variabilidade espacial e temporal dos resíduos sólidos, considerando: 1) os estágios de maré (enchente e vazante); 2) fases de maré (sizígia e quadratura apenas no Tucunduba e Tamandaré) e 3) sazonalidade (seco e chuvoso).

Para verificar a distribuição não-normal dos dados foi usado o teste Shapiro-Wilk. O teste de Mann-Whitney foi usado para comparações de quantidades de resíduos entre o local, estágio e fase de maré (este apenas para o Tucunduba e Tamandaré). Neste foram selecionados os dados referentes a 4 horas de enchente e 4 horas de vazante, com a exclusão dos dados em horários próximos a preamar e baixamar. Para testar a quantidade de resíduos nos diferentes períodos (seco e chuvoso) para todas as áreas estudadas, foi usado o teste de Kruskal-Wallis. O nível de significância adotado para os testes foi de $p < 0,05$.

4 RESULTADOS

4.1 RESÍDUOS NOS RIOS TUCUNDUBA E TAMANDARÉ

Um total de 13.754 resíduos foi quantificado nos rios Tucunduba e Tamandaré (Figura 7). “Pedacos pequenos de plásticos” com de 3.308 registros foi o tipo de resíduo que apresentou maior quantidade, seguido de “Rótulo e embalagem” (2.018) e “Tampa de garrafa” (1.140). Somados, esses três tipos representam 47% dos resíduos totais. Os três tipos de resíduos menos encontrados foram: “Palito de picolé”, “Carote” e “Pneu”; somados, os três representam 0,1% da quantidade total encontrada.

Dentre as quatro categorias padronizadas neste estudo (Madeira, metal, plástico e outros) os plásticos (73%) foram os mais abundantes, seguidos de outros (16%), madeira (8%) e metal (3%).

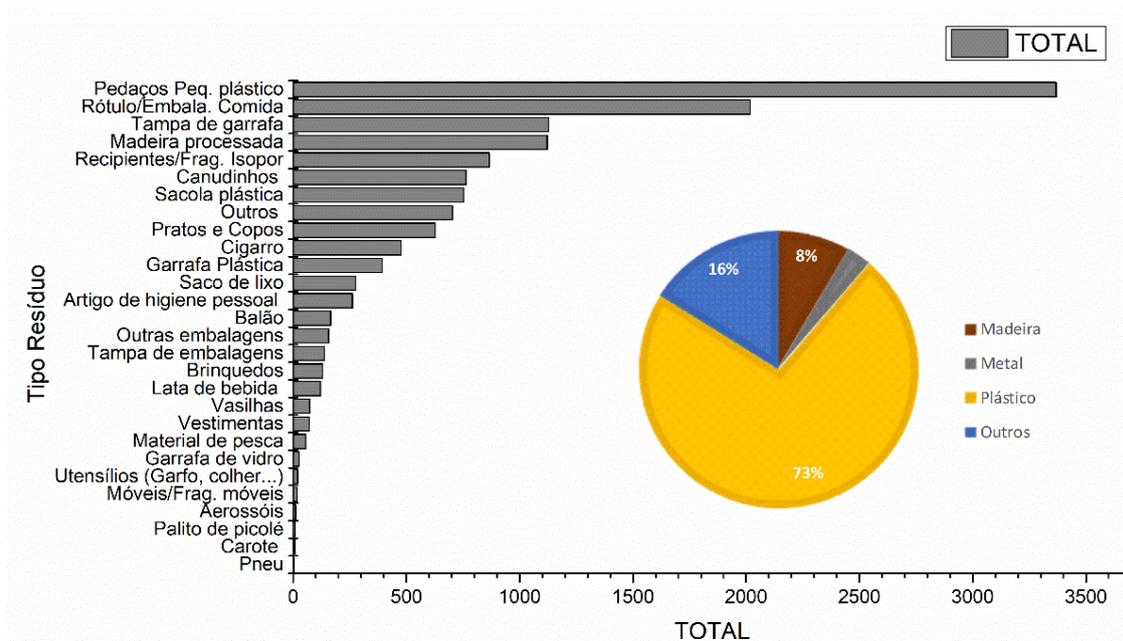


Figura 7-Quantidade dos tipos de resíduos encontrados nos rios Tucunduba e Tamandaré durante o período seco e chuvoso. A) quantidade dos tipos de resíduos. B) principais categorias de resíduos.

Do total de resíduos quantificados nos diferentes períodos sazonais (seco e chuvoso) (Figura 8), o Tucunduba não apresentou diferença significativa (Teste de Kruskal-Wallis, $p=0,86902$). O Tamandaré, entretanto, apresentou (Teste de Kruskal-Wallis, $p=0,007$) com mínimo de 255 e máximo de 4.319 resíduos, sendo o “pedaço pequeno de plástico” o mais observado tanto no período seco (327 itens) quanto no chuvoso (1.094).

No período seco, as quantidades de resíduos entre os dois rios foram significativamente diferentes (Teste de Mann-Whitney, $p=0,0002$), enquanto que no período chuvoso não houve diferença significativa (Teste de Mann-Whitney $p=0,8314$).

Ao analisar a influência da fase de maré (Figura 8) observou-se que o Tucunduba apresentou quantidade de resíduos semelhantes entre a sizígia (3.804) e a quadratura (3.786), sem diferenças significativas (Teste Mann-Whitney, $p=0,6788$). Já no Tamandaré, ocorreu o oposto, com diferenças significativas (Teste Mann-Whitney, $p=0,0002$) e maior quantidade (4.878) na sizígia e a menor (1.286) na quadratura.

Durante a maré de sizígia, não há diferença na quantidade de resíduos observados no Tucunduba e na Tamandaré (Teste Mann-Whitney, $p=0,8395$), com médias de $81\pm 96,62$ no Tucunduba e $101\pm 107,57$ na Tamandaré. Durante a quadratura, há diferença significativa (Teste Mann-Whitney, $p=0,0001$), com médias de $80\pm 93,97$ e $26\pm 36,25$ no Tucunduba e Tamandaré, respectivamente.

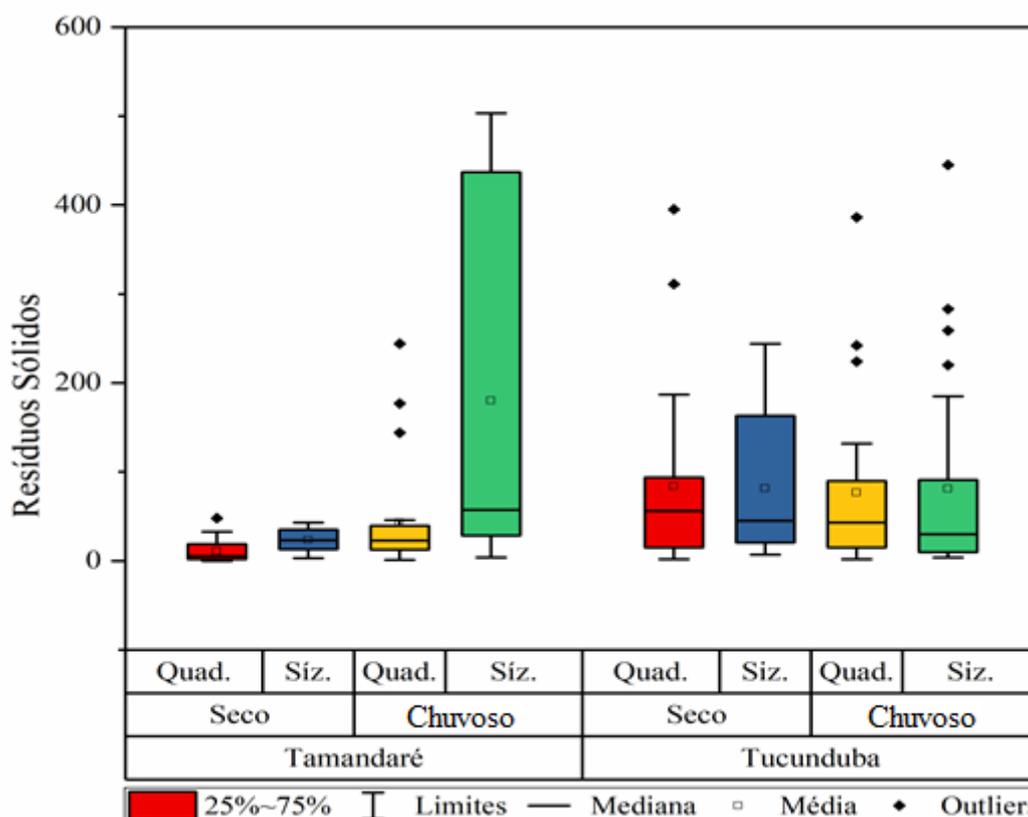


Figura 8-Quantidade de resíduos nos rios Tucunduba e Tamandaré durante marés de sizígia e quadratura no período seco e chuvoso.

Ao analisar os estágios de maré (enchente e vazante) (Figura 9), o Tucunduba apresentou diferença significativa na quantidade de resíduos nos dois períodos estudados

(teste de Mann-Whitney $p=0,0002$). Foi observado variância significativa nas diferentes fases de maré e períodos sazonais: $p=0,0054$ (sizígia, seco) e $p=0,0003$ (quadratura, seco) e $p=0,0001$ (sizígia e quadratura, chuvoso). As maiores médias ocorreram durante as vazantes: $96\pm 86,06$ na sizígia e $149\pm 106,57$ na quadratura do seco; $124\pm 153,93$ na sizígia e $158\pm 133,06$ na quadratura durante o período chuvoso.

Para o Tamandaré também houve diferença significativa para o estágio de maré (Teste de Mann-Whitney $p=0,0019$). Contudo, essa variação significativa ocorre apenas durante a quadratura nos dois períodos (Teste de Mann-Whitney $p=0,0006$ no seco e $p=0,0009$ no chuvoso), com as maiores médias na vazante do período seco ($21\pm 14,90$) e chuvoso ($93\pm 83,11$).

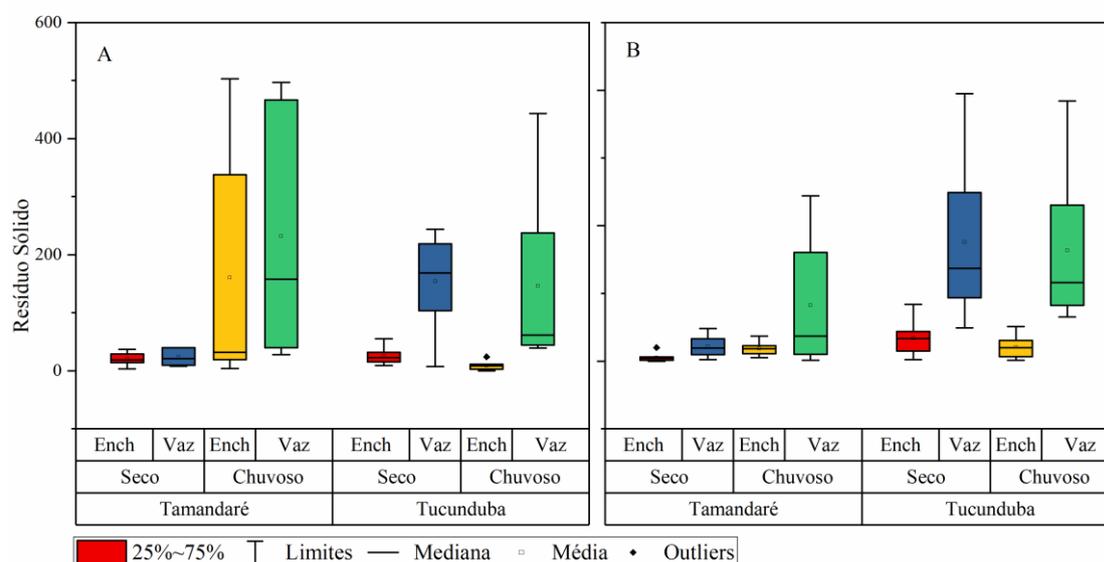


Figura 9-Quantidade de resíduos nos rios Tucunduba e Tamandaré nos diferentes estágio de maré enchente e vazante, na sizígia (A) e quadratura (B) dos período seco e chuvoso.

4.2 RESÍDUOS SÓLIDOS NA REGIÃO FLUVIO-ESTUARINA

Na região fluvio-estuarina que compreende os rios Acará, Guamá e a baía do Guajará foi registrado um total de 5.873 resíduos (3.454 em 2019 e 2.425 em 2020). Dentre as categorias madeira, metal, plástico e outros, o plástico apresentou 68% do total, seguida de outros (20%), madeira (10%) e metal (2%). O “pedaço pequeno de plástico” (991 resíduos) foi o resíduo mais observado, seguido de “rótulo e embalagem” (917) e de “garrafa plástica” com 709 resíduos (Figura 10). Estes três tipos correspondem a 45% do total de resíduos. Os menos encontrados foram os utensílios (2 resíduos) nos rios Acará e Guamá, e móveis ou fragmentos (2 resíduos) que ocorreram na baía do Guajará.

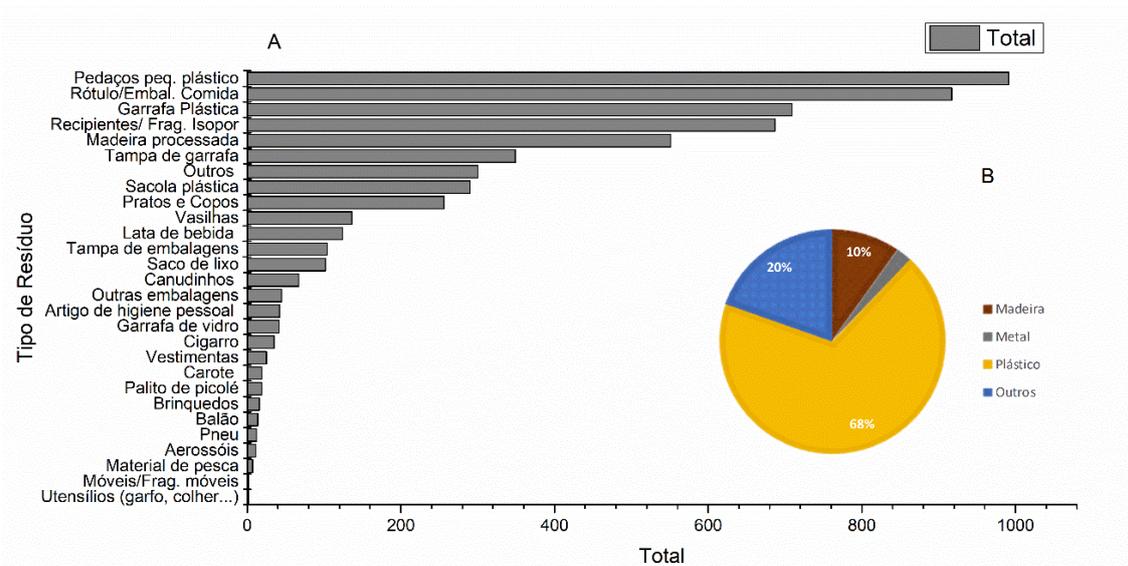


Figura 10- Quantidade dos tipos de resíduos observados na região fluvio-estuarina durante o período seco e chuvoso. A) Quantidade dos tipos de resíduos observados. B) Principais categorias de resíduos observados.

Do total de resíduos quantificados nos quatro transectos durante os períodos seco e chuvoso, o ponto P2-rio Guamá/Alça foi o único que apresentou diferença significativa (Teste de Kruskal-Wallis, $p=0,0023$), sendo visualizados 545 resíduos no período seco e 147 no período chuvoso (Figura 11). Entre estes períodos o rio Acará (P1), Guamá/foz (P3) e baía do Guajará (P4) não apresentaram diferença significativa (Teste de Kruskal-Wallis $p=0,4029$; $p=0,0662$; $p=0,0512$) respectivamente.

A similaridade entre a quantidade de resíduos observados nos pontos de amostragem, possibilitou o agrupamento das informações em dois setores: setor (1) o rio Acará e rio Guamá/Alça e setor (2) baía do Guajará e a foz do rio Guamá. Estes setores apresentam diferenças significativas (Teste de Kruskal-Wallis, $p=0,0071$) nos períodos sazonais. O setor (2) apresentou um total de 4.653 resíduos, o que corresponde a 87% do total de resíduos visualizados no sistema, enquanto que o setor 1 apresentou 1.408 resíduos. Os tipos de resíduos mais abundantes nos dois setores foram: “Pedaços pequenos de Plástico”, “Rótulo e embalagem”.

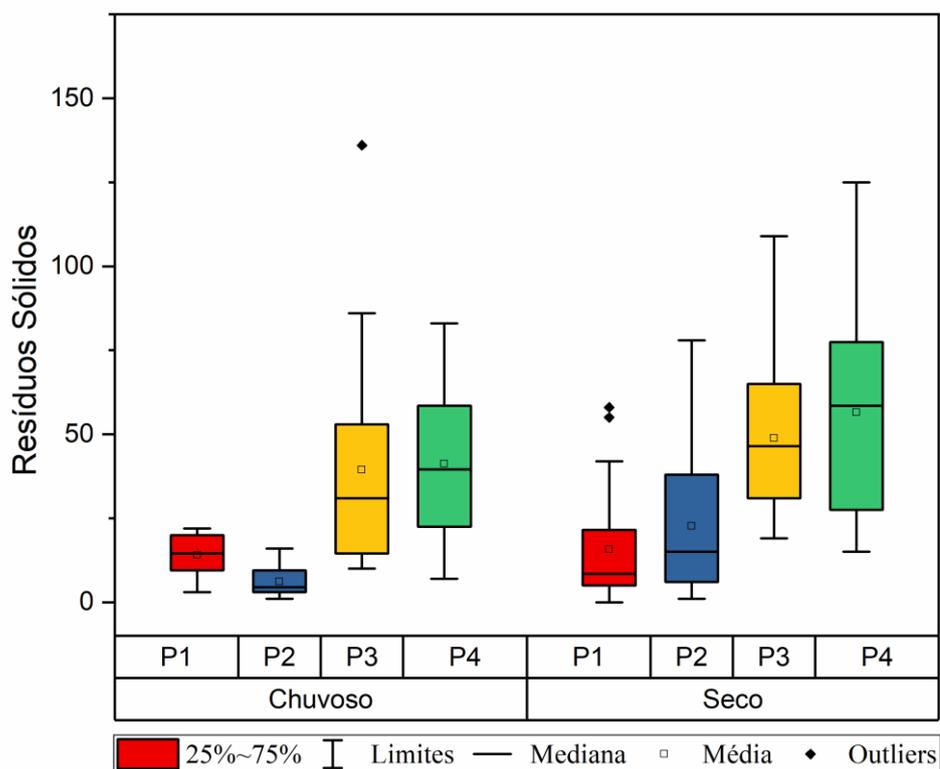


Figura 11-Quantidade de resíduos observados nos períodos seco e chuvoso nos rios Acará (P1), Guamá/alça (P2), Guamá/Foz (P3) e Baía do Guajará (P4).

Os rios Acará (P1), Guamá (P2 e P3) e baía do Guajará (P4) não apresentaram diferença significativas na quantidade de resíduos observados entre os estágios de maré enchente e vazante (Figura 12) durante os períodos estudados (Teste Mann-Whitney, $p=0,8502$; $p=0,4967$; $p=0,7059$; $p=0,5976$ respectivamente).

No setor (1), o rio Acará apresentou média de $15 \pm 8,30$ resíduos durante a enchente e vazante dos períodos estudados. Embora sem diferença significativa, o rio Guamá/Alça (P2) apresentou a maior média durante a enchente ($35 \pm 25,09$) no período seco, tendo esse valor reduzido em até 9 vezes no período chuvoso ($4 \pm 3,11$).

No setor (2) o rio Guamá/Foz e baía do Guajará apresentaram as maiores médias durante a enchente ($71 \pm 16,66$ e $82 \pm 21,83$) no período seco, já no período chuvoso as maiores médias ocorreram durante a vazante ($50 \pm 44,42$ e $44 \pm 20,97$, respectivamente).

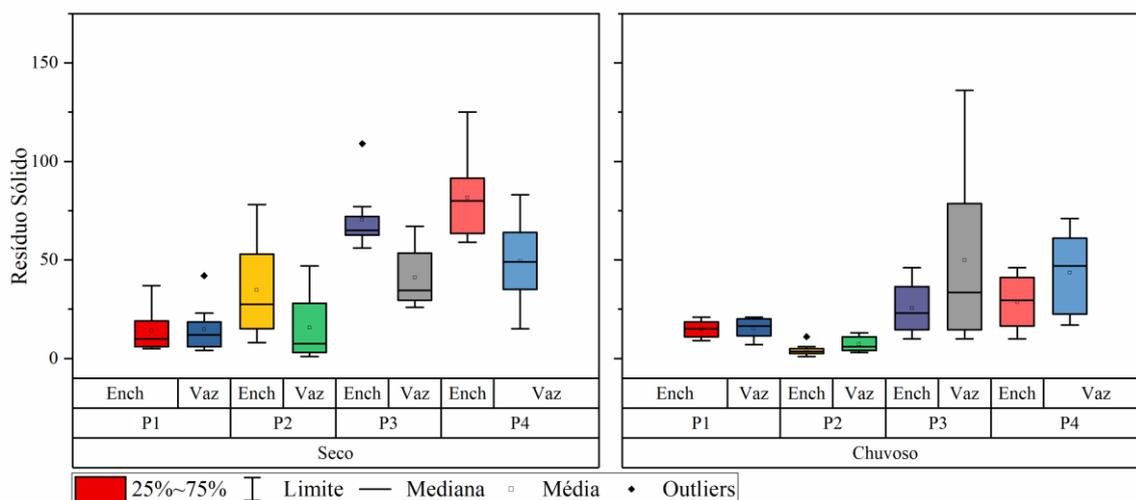


Figura 12- Quantidade de resíduos observados nos diferentes estágios de maré (enchente e vazante) nos períodos seco e chuvoso dos rios Acará (P1), Guamá/alça (P2), Guamá/Foz (P3) e Baía do Guajará (P4).

4.3 TIPOS DE RESÍDUOS MAIS ENCONTRADOS NOS RIOS

Para os rios estudados 9 tipos de resíduos foram mais encontrados utilizando a análise de componentes principais (Figura 13). “Pedacos pequenos de plástico” (22-41%), “Rótulo/embalagem” (14-26%) e “Tampa de garrafa” (6-12%) foram os tipos que apresentaram maiores porcentagens nos rios estudados. Já os resíduos “Cigarro” (0-6%), “Canudinhos” (0-7%) e “Pratos e copos” (5-8%) foram o que apresentaram menores porcentagens.

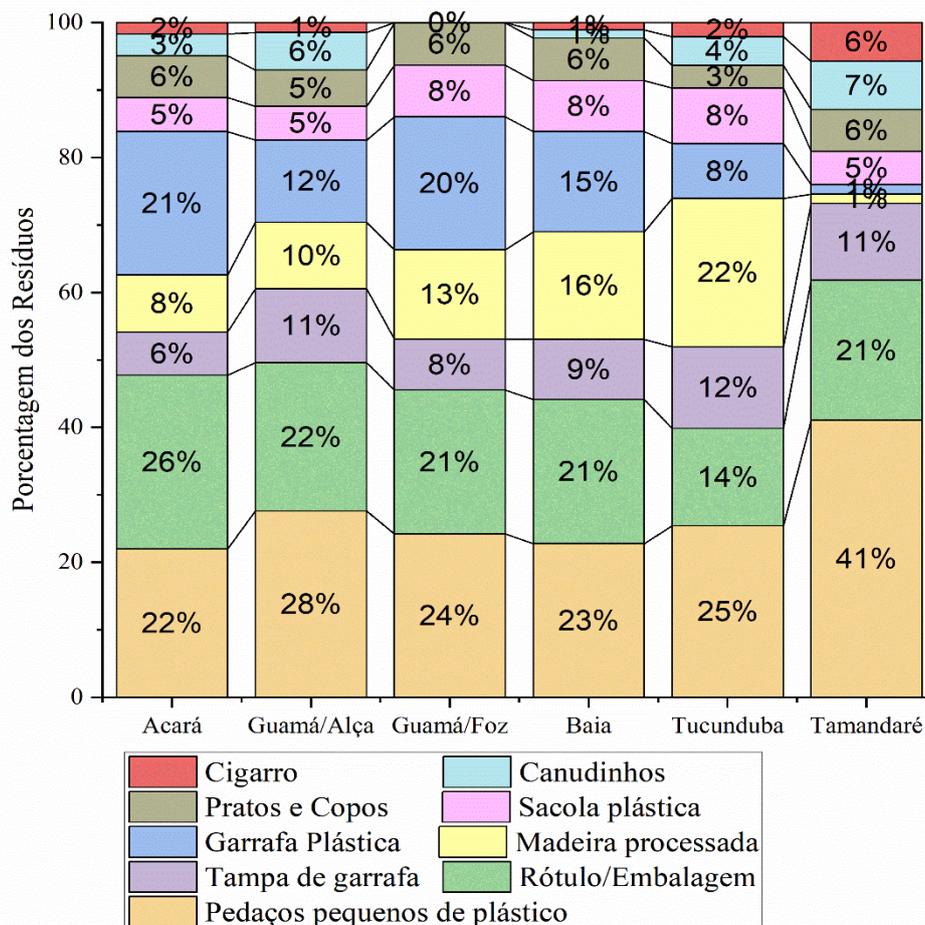


Figura 13-Tipos de resíduos mais frequentes encontrados nos rios dominados por marés (Acará, Guamá/Alça, Guamá/Foz, baía do Guajará, Tucunduba e Tamandaré) nos períodos estudados.

4.4 ESTIMATIVAS DO TRANSPORTE DE RESÍDUOS NOS RIOS

A estimada de resíduos transportados no Tucunduba variou de 156.120 a 196.608 itens/mês no período chuvoso e seco, respectivamente, enquanto que no Tamandaré ocorreu o oposto, com transporte 80 vezes menor que o Tucunduba (2.064 itens/mês) no período seco e (104.568 itens/mês) no período chuvoso.

O transporte estimado (Tabela 2) apresentou uma alta variabilidade entre os estágios de maré, exceto no Tamandaré no período seco (-44 ± 14 itens/hora na enchente e 47 ± 17 itens/hora na vazante). No Tucunduba, período chuvoso, o transporte durante a vazante ultrapassou 260 itens/hora, sendo 14 vezes superior ao da enchente. No Tamandaré, contudo, o transporte mais expressivo durante a vazante ocorreu somente no período chuvoso (408 ± 430 itens/hora). Apesar da diferença, os dois rios apresentaram transportes de resíduos em direção a jusante (+) ao longo do ciclo de maré (enchente e vazante).

Tabela 2- Estimativas de transporte de resíduos flutuantes nos rios Tucunduba e Tamandaré durante os períodos seco e chuvoso.

Estimativa transporte	Tucunduba		Tamandaré	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Enchente (itens/hora)	-50±17	-21±21	-44±14	-263±376
Vazante (itens/hora)	267±151	294±263	47±17	408±430
Residual (itens/hora)	217	273	3	376
Diária (itens/dia)	5.204	6.554	69	3.486
Mensal (itens/mês)	156.120	196.608	2.064	104.568

Os rios Acará e Guamá (Tabela 3) apresentaram uma estimativa de transporte em direção a montante, que variou entre -3.360 e -60.048 itens/mês no período seco. Esse padrão se repetiu no período chuvoso, com estimativas variando entre -1.440 e -26.592 itens/mês nos rios Acará e Guamá, contudo, a baía do Guajará apresentou transporte em direção a jusante (2.736 itens/mês).

Entre os estágios de maré, no período seco, a maior variação ocorreu no rio Guamá/Alça e baía do Guajará, onde a estimativa de transporte durante a enchente foi o dobro da vazante. No período chuvoso a maior variação ocorreu somente no Guamá/Foz, também com valores de enchente (-93±78 itens/hora) superior ao da vazante (56±29 itens/hora).

Tabela 3- Estimativas de transporte de resíduos nos rios Acará, Guamá e baía do Guajará durante os períodos seco e chuvoso.

	P1- Acará	P2- Guamá/Alça	P3- Guamá/Foz	P4-Baía do Guajará
	Seco			
Enchente (itens/hora)	-35±28	-71±55	-133±27	-155±40
Vazante (itens/hora)	30±28	30±29	74±26	72±24
Residual (itens/hora)	-5	-42	-59	-83
Diária (itens/dia)	-112	-997	-1420	-2002
Mensal (itens/mês)	-3360	-29904	-42600	-60048
	Chuvoso			
Enchente (itens/hora)	-31±7	-14±7	-93±78	-78±31
Vazante (itens/hora)	28±10	12±8	56±29	82±39
Residual (itens/hora)	-3	-2	-37	4
Diária (itens/dia)	-74	-48	-886	91
Mensal (itens/mês)	-2208	-1440	-26592	2736

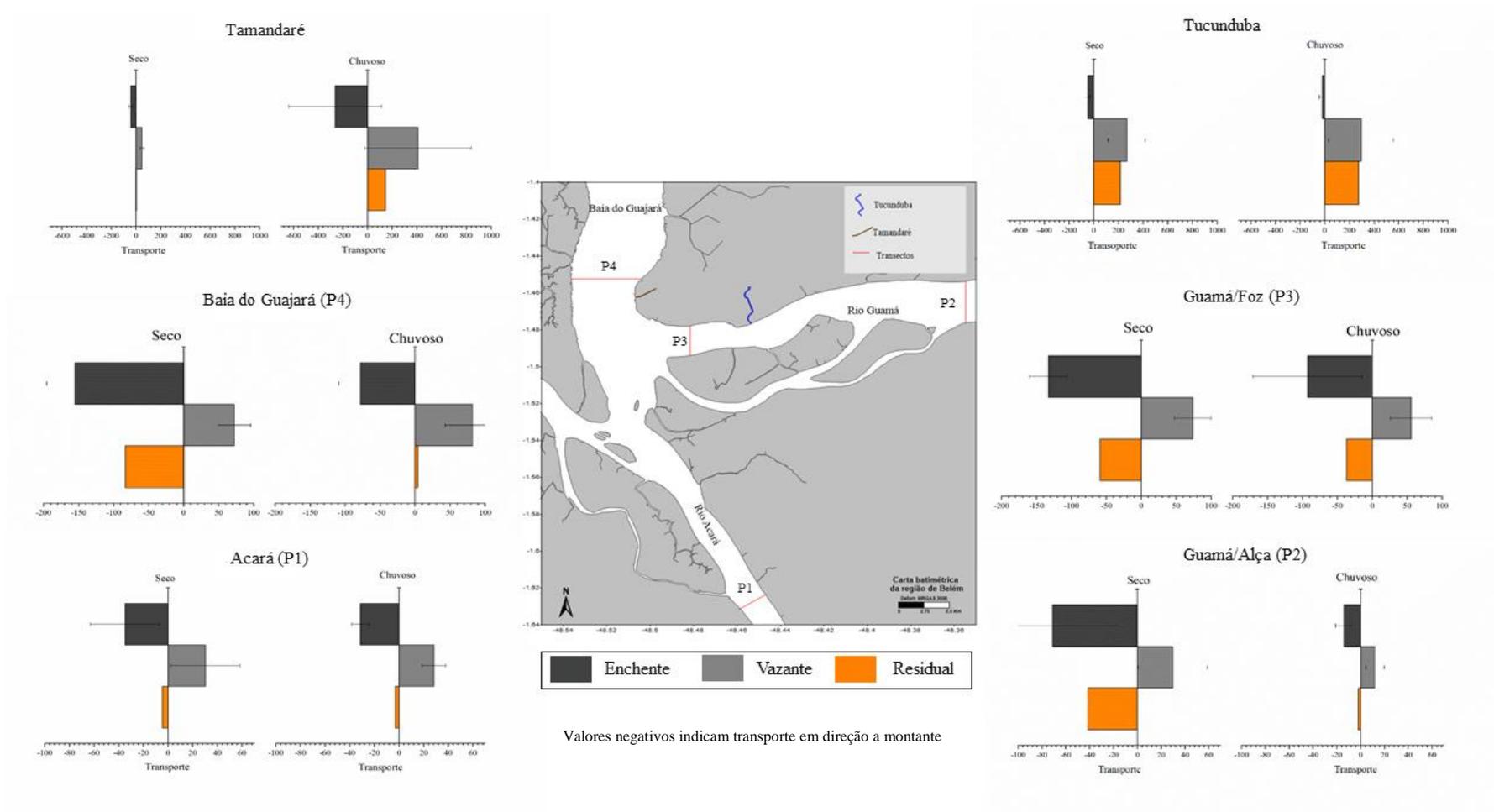


Figura 14- Estimativa do transporte de resíduos sólidos flutuantes durante um ciclo de maré (enchente e vazante) e transporte residual (itens/hora) nos rios Tucunduba, Tamandaré, Acará, Guamá e baía do Guajará no período seco e chuvoso.

Ao considerar somente os itens plásticos observados nos rios urbanos, calculou-se a estimativa anual, em toneladas, transportada pelos rios Acará, Guamá, Baía, Tucunduba e Tamandaré. Para esse cálculo utilizou-se os dados de vazão fluvial coletados in situ.

A vazão nos rios estudados durante o período seco variou de 0,7 a 4.592 m³/s enquanto no chuvoso foi de 0,7 a 5.244 m³/s. O transporte anual de itens plásticos variou de 3 a 548 Toneladas/ano, sendo o rio Guamá o único com uma estimativa voltada para a montante (-339 T/Ano) (Tabela 4).

A Figura 15 representa como ocorre o transporte dos resíduos sólidos nos rios estudados. Os rios que recortam o continente (Tucunduba e Tamandaré) funcionam como fonte de resíduos, tendo um fluxo exportador, transportando anualmente 3 e 6 toneladas de itens plásticos para os rios que margeiam Belém (Guamá e Baía). Nestes rios os resíduos apresentam um fluxo bidirecional, condicionados pela maré.

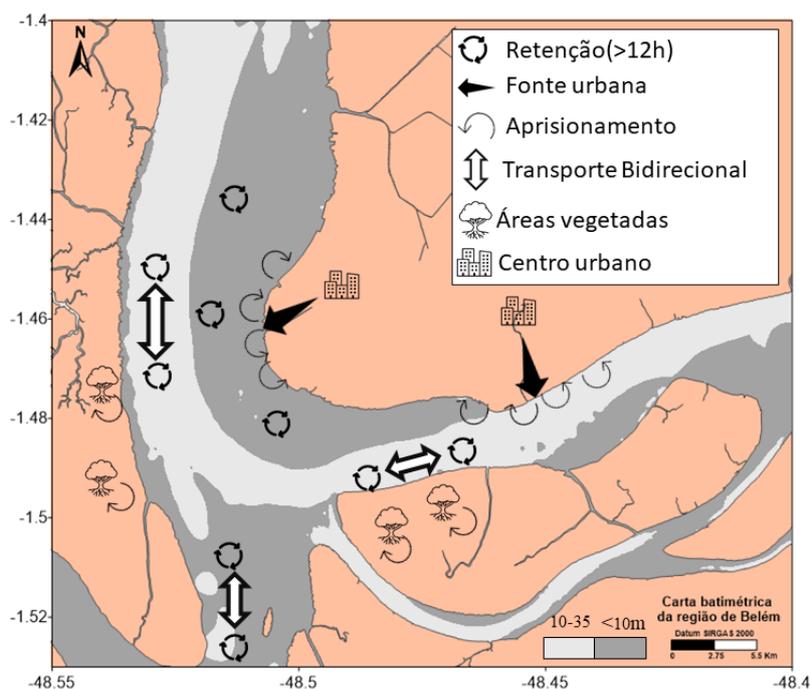


Figura 15- Fontes de resíduos a partir de centros urbanos, locais de aprisionamento próximos às margens e a áreas vegetadas e transporte bidirecional que influenciam a dispersão e/ou retenção de resíduos sólidos flutuantes nos rios dominados por marés estudados.

Tabela 4- Estimativa de transporte em Toneladas de matérias plásticas (mês, semestre e anual) e vazão média residual (m³/s) medida in situ nos rios Acará (P1), Guamá (P2 e P3), baía do Guajará (P4), Tucunduba e Tamandaré durante o período seco e chuvoso.

LOCAL	SECO			CHUVOSO			
	Vazão (m ³ /s)	Mês (tonelada/mês)	Sazonal (tonelada/semestre)	Vazão (m ³ /s)	Mês (tonelada/mês)	Sazonal (tonelada/semestre)	Anual (tonelada/ano)
Acará-p1	83	-0.1	-0.67	982	4	25	24
Guamá-p2	2.667	-68	-405	3.850	9	53	-352
Guamá-p3	4.163	-81	-484	5.244	24	145	-339
Baía-p4	4.592	-55	-328	4.531	146	877	549
Tucunduba	2.30	0.39	2	3.45	0.66	4	6
Tamandaré	0.7	0.02	0.08	0.7	0.48	3	3

*Sazonal- Transporte em 6° meses.

5 DISCUSSÃO

Dentre todos os resíduos encontrados nos rios avaliados, o plástico foi o mais observado tanto no Tucunduba e Tamandaré (73%) quanto nos rios Acará, Guamá e Baía do Guajará (68%). Isto reflete a dinâmica de produção e consumo que o plástico apresenta, além de considerar as baixas taxas de gestão dos resíduos sólidos (Moss *et al.* 2021). Por isso, o plástico também foi abundante em outros estudos, como realizado por Jimenez *et al.* (2019), onde 77% dos resíduos observados no rio Ródano foram de materiais plásticos e por Gonçalves *et al.* (2020) que identificaram o aprisionamento de plástico (96,38%) nas margens de rios dominados por maré em Belém do Pará.

Os resíduos encontrados refletem o consumo de itens plásticos descartáveis, como: “Canudinho”, “Pratos e copos”, “Sacola”, “Garrafa plástica”, “Tampa de garrafa”, “Rótulo/Embalagem” e “Pedacos de plástico”, indicando a necessidade de ações que visem a diminuição do consumo destes produtos.

A quantidade de resíduos encontrados nos rios Tucunduba, Acará, Guamá/foz e baía do Guajará não apresentou variação sazonal (seco e chuvoso). Esse resultado não era esperado para a área de estudo, pois eventos de alta descarga são importantes impulsionadores do transporte de materiais para os sistemas fluviais (Van Emmerik *et al.* 2019), como foi relatado em outros estudos, por exemplo: Chen *et al.* (2014), Liu *et al.* (2020), Van Emmerik *et al.* (2020). Ainda, a alta descarga pode mobilizar os resíduos sólidos acumulados nas margens dos rios (Liro *et al.* 2020).

Para o sistema fluvio-estuarino paraense estudado, contudo, outros processos hidrodinâmicos foram predominantes na distribuição de resíduos flutuantes, como comprovados neste estudo através das variações significativa entre estágios de marés. Embora sem correlação significativa, sugere-se que as intensidades das correntes de maré associadas a geomorfologia e largura do canal, também são fatores que influenciam esta distribuição de resíduos. Além disso, a densa vegetação das margens fluviais pode atuar como armadilhas que aprisionam resíduos (Gonçalves *et al.* 2020) em áreas com menor hidrodinâmicas. E, independente do período sazonal, a ineficiência no gerenciamento dos resíduos, pode ser considerada como um importante fator para a poluição plástica em ambientes fluviais (Bletter *et al.* 2018).

Para rios retilíneos por ação antrópica, como o Tamandaré, a influência da precipitação (31 mm/dia) associada a maré de sizígia (durante vazante) condicionaram as maiores quantidades de resíduos, principalmente do tipo “pedaço pequeno de plástico” no Tamandaré. Observa-se que a precipitação pode favorecer o transporte de resíduos das

vias urbanas para os rios (Blettler *et al.* 2018). Este processo é intensificado no Tamandaré por se tratar de uma área urbanizada com vias drenadas, planas e com diferentes atividades (portos de carga e passageiros, comércios e residências). Van Emmerik *et al.* (2019) afirmam que os rios que atravessam áreas urbanas densamente povoadas podem exportar grandes quantidades de resíduos de plástico da terra para o oceano.

Além disso, o Tamandaré é um rio sem presença de vegetação, de planícies de inundação e, ainda, com estrutura de contenção (grades metálicas) na sua foz. Esta estrutura retém parte dos macroresíduos flutuantes carreados pelo rio, contudo, em eventos extremos (chuva e maré) a contenção não atua de forma eficiente. E, associadas a quantidade de resíduos descartadas e/ou depositados em suas margens, há transferência destes para o rio. E mesmo, a presença de grades de contenção não é capaz de reter os pequenos resíduos, como: “Pedaços pequenos de plástico”, “Rótulo/Embalagem”, “Tampa de garrafa”, “Cigarro”, “Pratos e Copos”, “Sacola plástica”, “Canudinhos” e “Recipientes/fragmentos isopor” (Figura 13).

Diferente do Tamandaré, para o Tucunduba não confirmamos a hipótese de que a maior quantidade de resíduos ocorre durante eventos extremos (sizígia e período chuvoso). Porém, o processo de ocupação periférico, a canalização não concluída e a ausência de estrutura de contenção, atrelados a emissão de resíduo direto no rio (Pimentel *et al.* 2012), podem contribuir para a maior quantidade e tipos de resíduos (“Recipientes/fragmentos isopor”, “Madeira processada”, “Rótulo/Embalagem”, “Pedaços pequenos de plástico”, “Tampa de garrafa”, “Canudinhos”, “Sacola plástica” e “Garrafa Plástica”) transportados, principalmente durante a maré vazante no Tucunduba. Esta maior quantidade de resíduos plásticos (1.502) durante a vazante também já foi confirmada por Santos (2018).

Outro aspecto do Tucunduba está relacionado a predominância de mata ciliar com alturas de até 10 metros, com maior ocorrência de aningas (*Momntrichardia linifera*) (Teixeira *et al.* 2014), em uma extensão de aproximadamente de 1km da sua foz em direção a montante. Esta característica natural favorecem não somente a retenção de sedimentos (Teixeira *et al.* 2014) como também de resíduos sólidos, conforme observado durante as campanhas. A maior quantidade de resíduos em áreas vegetadas também foi relatada por Gonçalves *et al.* (2020) e Cozzolino *et al.* (2020) em áreas dominas por maré.

A densidade populacional de Belém (1.315 hab/km²) (Ibge 2010), as atividades econômicas (portos, construção civil, mineração) e os rios que recortam a cidade podem

justificar a maior quantidade de resíduos na região fluvio-estuarina próxima ao continente, principalmente no setor 2 (Guamá/foz e baía do Guajará). A relação entre a quantidade de resíduos, o tipo de uso do ambiente e a densidade populacional foi comprovada em outros estudos (Baldwin *et al.* 2016, Lebreton *et al.* 2017, Mian *et al.* 2017, Nihei *et al.* 2020, Van Emmerik *et al.* 2019).

Nos rios Acará e Guamá/alça (setor 1), por serem regiões mais distantes do centro urbano, as menores quantidades de resíduos foram observadas, provavelmente decorrentes do menor aporte local (comunidades ribeirinhas e fluxo de embarcação) e/ou do transporte condicionado pelas correntes de maré e vazão fluvial.

A poluição dos sistemas hídricos é um fato mundial e estimativas apontam que a América do Sul contribui com 17.300 milhões de toneladas métricas de resíduos para o oceano por ano (Al-Zawaidah *et al.* 2021). Em uma escala mais localizada, um total de 13.754 resíduos foram quantificados nos rios Tucunduba e Tamandaré e 5.900 na região fluvio-estuarina (Acará, Guamá e Baía do Guajará). Esse quantitativo refletiu a estimativa do fluxo médio, onde o Tucunduba e Tamandaré atuam como exportadores de resíduos para a região fluvio-estuarina.

Ao atingir a região fluvio-estuarina, o resíduo apresenta estimativa de transporte bidirecional. Isto pode ocorrer porque a região é altamente influenciada por mesomarés, com maiores intensidades de corrente durante a enchente (Bock *et al.* 2011). Independente da sazonalidade climática, as correntes podem influenciar o maior transporte de resíduos para à montante durante a maré enchente (Figura 15). Em especial no período seco, sugere-se que a redução da vazão fluvial (Tabela 4), somada as intensas correntes de enchente e a influência do vento, são fatores que podem ser decisivos no processo de retenção dos resíduos no sistema fluvio-estuarino.

Assim, no rio Guamá os processos hidrodinâmicos aliados com a estimativa de fluxo de itens plásticos por ano, permitem sugerir que nesta região ocorre o aprisionamento de resíduos durante um ciclo de maré (período de observação). Ivar do Sul *et al.* (2013) destacam que a dinâmica das marés pode causar transporte lento de plásticos e Acha *et al.* (2003) identificaram maiores concentrações de detritos plásticos no fundo do estuário quando comparado ao oceano. Essas informações reforçam que os ambientes dominados por marés podem atuar como sumidouros temporários de resíduos (Costanza *et al.* 1997, Browne *et al.* 2010).

Além disso, a elevada hidrodinâmica dos estuários, pode favorecer a retenção de plásticos (micro e macro) por longos períodos (Ivar do Sul *et al.* 2013). E é provável que

o tempo de residência dos macrolásticos possa ultrapassar décadas, como observado por Tramoy *et al.* (2020) no estuário do rio Sena. O aprisionamento de resíduos em estuários foi registrado em outros estudos (Sadri & Thompson 2014, Tramoy *et al.* 2020, Van Emmerik *et al.* 2020).

Para a região fluvio-estuarina paraense, propõem-se que o Tucunduba e o Tamandaré atuam como fonte de resíduos plásticos. Ao atingirem o rio Guamá e a baía do Guajará, os resíduos estão sujeitos a intensa ação hidrodinâmica (corrente de maré e vazão), que na margem direita são menos intensas que a margem esquerda (Figura 14). Esses processos podem favorecer o aprisionamento de resíduos principalmente no rio Guamá (-339 Toneladas/ano).

As estimativas de fluxos de resíduos não indicam que os rios urbanos dominados por maré contribuem diretamente com a poluição plástica nos oceanos, visto que há uma retenção temporária (ciclo de maré). Embora não confirmado estatisticamente, a transferência de resíduo no sistema fluvio-estuarino (transporte e/ou acumulação) pode ser fortemente influenciado pela intensidade de correntes, pela vazão fluvial e pela maré (enchente e vazante). Além disso, o transporte de resíduos flutuantes pode estar condicionado a influência do vento (Browne *et al.* 2010, Tong *et al.* 2021), processo este não estudado.

As estimativas de transporte anual de itens plásticos dos rios estudados são maiores que a encontrada por Jimenez *et al.* (2019) no rio Ródano, entretanto, não estão entre os mais elevados, como os relatados por Mai *et al.* (2020) e Meijer *et al.* (2021). Os rios de pequeno porte, principalmente que recortam grandes centros urbanos estão entre os que mais transferem resíduos do continente para o oceano (Meijer *et al.* 2021). O Rio Pavuna (RJ) está entre os trinta e cinco rios mais poluídos por resíduos sólidos e apresentam uma estimativa de transporte de 26.000 Toneladas/ano (Meijer *et al.* 2021). Embora muito distante deste volume de resíduos transportados, os rios Tucunduba e Tamandaré, assim como a densa rede de drenagem urbana de Belém (PA), contribuem fortemente no transporte de resíduos do continente para o sistema estuarino e, conseqüentemente, pode contribuir para poluição marinha.

Uma estimativa importante deste estudo aborda a possível retenção a longo prazo de resíduos no rio Guamá. Nenhuma estimativa proposta em outros estudos relata padrões de transferências de resíduos em direção a montante do rio. Esta possível retenção, como já explicada, reflete a influência de processos hidrodinâmicos que condicionam a área de

estudo (correntes de maré, vazão fluvial, vento) e reforça a necessidade de estudos com metodologias adaptadas para a região.

Esta é a primeira estimativa de transporte de resíduos flutuantes e de resíduos plásticos em rios dominados por maré na região amazônica. Para que se tenha mais certeza sobre a quantificação e estimativas de resíduos flutuantes no sistema fluvio-estuarino em diferentes escalas temporais, sugerimos que metodologias adicionais sejam utilizadas, por exemplo, coletas de resíduos através de redes de amostragens, uso de armadilhas, e a realização de simulações de resíduos abrangendo áreas alagáveis. Estas metodologias adicionais podem minimizar os erros das estimativas baseadas somente em observações visuais, vistos que, como as seções transversais são extensas (<3km), é provável que muitos resíduos não tenham sido quantificados durante o transecto, ou que resíduos possam ter sido recontados durante a movimentação da embarcação.

Tabela 5- Comparação entre as estimativas de transporte de plástico T/ano (toneladas/ano) para os rios dominados por maré em diferentes regiões.

LOCAL	MARÉ	TAMANHO	MÉTODO COLETA	ESTIMATIVA (tonelada/ano)	REFERÊNCIA
Rio Ródano (Suíça/França)	Sim	Macroplástico	Visual	0.71	Jimenez <i>et al.</i> (2019)
Brasil (País todo)		Não identificado	Simulação	37x10 ⁶	Meijer <i>et al.</i> (2021)
Rio Amazonas	Sim	Não identificado	Simulação	11x10 ⁶	Mai <i>et al.</i> (2020)
Rio Yangtzé(China)	Sim	Não identificado	Simulação	33x10 ⁶	Mai <i>et al.</i> (2020)
Rio Pavuna (Brasil)	Sim	Não identificado	Não identificado	2.600	Meijer <i>et al.</i> (2021)
Rio Saigon (Vietnã)	Sim	Macroplástico	Coleta	0.7	Vann Emerik <i>et al.</i> (2018)
Acará	Sim	Macroplástico	Visual	24	
Guamá	Sim	Macroplástico	Visual	-339	
Baia do Guajará	Sim	Macroplástico	Visual	549	Este estudo
Tucunduba	Sim	Macroplástico	Visual	6	
Tamandaré	Sim	Macroplástico	Visual	3	

(-) Valor em sentido a montante.

6 CONCLUSÃO

Este é o primeiro estudo que apresenta a quantificação de resíduos sólidos flutuantes nos rios urbanos dominados por marés Tucunduba, Tamandaré, Acará, Guamá e Baía do Guajará, considerando diferentes escalas temporais (ciclo de maré e sazonalidade).

Enfatizamos que as observações durante um ciclo completo de maré foram essenciais para estimar o transporte mediano por dia nos rios estudados. Por isso, entendemos que a dinâmica das marés, a vazão fluvial e o vento podem desempenhar papel crucial na transferência dos resíduos entre os rios.

Assim, os rios Tucunduba e Tamandaré apresentaram transportes significativos de resíduos sólidos flutuantes da região urbanizada de Belém para o sistema fluvio-estuarino adjacente. Nesta região há um fluxo bidirecional dos resíduos, sendo o Guamá um rio que promove o aprisionamento de resíduos e o Acará e a baía do Guajará exportam.

Sendo assim, com a descoberta do transporte dos resíduos nos rios estudados, acreditamos que políticas regionais voltadas especificamente para as características dessas áreas, teriam benefícios consideráveis para diminuição dos resíduos nos rios, bem como na proteção do ecossistema.

REFERÊNCIAS

- Acha E. M., Mianzan H. W., Iribarne O., Gagliardini D. A. Lasta C., Daleo P. 2003. The role of the Río de la Plata bottom salinity front in accumulating debris. *Marine Pollution Bulletin*, **46**:197-202.
- Akdogan Z. & Guven B. 2019. Microplastics in the environment: a critical review of current understanding and identification of future research needs. *Environmental Pollution*, **254**: 113011.
- Al-Zawaidah H., Ravazzolo D., Friedrich H. 2021. Macroplastics in rivers: present knowledge, issues and challenges. *Environmental Science Processes & Impacts*, **23**:535-552.
- Andrade, R., Pegado, T., Godoy B. S., Reis-Filho J. A., Nunes J. L.S., Grillo A. C., Machado R. C., Santos R. G., Dalcin R. H., Freitas M. O., Kuhnen V. V., Barbosa N. D., Adelar-Alves J., Albuquerque T., Bentes B., Giarrizzo T. 2020. Anthropogenic litter on Brazilian Beaches: Baseline, trends and recommendations for futures approaches. *Marine Pollution Bulletin*, **151**: 110842 Feb.
- Araujo V. E. S. 2018. *Análise de alguns parâmetros de qualidade da água na baía do Guajará em Belém-Pa e os efeitos do regime pluviométrico e de marés*. MS Dissertation, Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Belém, 121 p.
- Baldwin A. K., Corsi S. R., Mason S. 2016. A plastic debris in 29 great lakes tributaries: Relations to watershed attributes and hydrology. *Environmental Science & Technology*. **50**:377-385.
- Barnes D. K. A., Galgani F., Thompson R. C., Barlaz M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions R. Society B*. **364**:1985-1998.
- Barros M. L. C. 2005. *Calibração de um modelo hidrodinâmico da baía do Guajará*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 189p.
- Belém. 2014. *Bacias hidrográficas*. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/codem_mapas/Mapa%20-%20Bacias%20Hidrograficas%20de%20Belem.pdf. Acesso em: 25 de Agosto de 2019.
- Blettler M. C. M., Abrial E., Khan F. R., Sivri N., Espinola L. A. 2018. Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying knowledge gaps. *Water research*, **143**(15):416-424, out.
- Böck C.S., Assad L.P.F., Landau L. 2011. Influence of bottom morphology on the hydrodynamics of Guajará Bay (Amazon, Brazil). *Journal of Coastal Research*. **SI64**:981 – 985.
- Browne. M. A., Galloway T. S., Thompson R. C. 2010. Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environmental Science & Technology*. **44** (9): 3404-3409.
- Bruge A., Barreau C., Carlot J., Collin H., Moreno C., Maison P. 2018. Monitoring litter inputs from the Adour River (Southwest France) to the marine environment. *J. Marine Science Engineering*. **6** (1): 24. <https://doi.org/10.3390/jmse6010024>.
- Campos T. L. O. B., Mota M. A. S., Santos S. R. Q. 2014. Eventos extremos de precipitação em Belém-Pa: uma revisão de notícias históricas de jornais. *Revista Ambiente & Água*, **10**(1):182-194, nov.

- Chen J. B., Bouchez J., Gaillardet J., Louvat P. 2014. Behaviors of major and trace elements during single flood event in the Seine River, France. *Procedia Earth and Planetary Science*. **10**:343-348.
- Costanza R., D'Arge R., Groot R. de. Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., Neill R.V.O., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., van den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**: 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>.
- Cozzolino L., Nicastro K. R., Zardi G. I., Santos C. B. 2020. Species-specific plastic accumulation in the sediment and canopy of coastal vegetated habitats. *Science of the Total Environment*. **723**: e138018.
- Figueiredo A. B., Matta M. A. S., Almeida F. M., Dias E. R. F., Costa F. R. Fundamentos básicos para exploração de água subterrânea na bacia do Tucunduba- Belém/PA, como base para um modelo de desenvolvimento auto-sustentável. In: 12º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, *Anais[...]* Santa Catarina, 2002.
- Galgani F., Hanke G., Maes T. 2015. Global distribution, composition and abundance of marine litter. In: Bergmann M., Gutow L., Klages M. *Marine anthropogenic litter*. [S.l.], Springer Open, p. 29-56.
- Gonçalves M., Schmid K., Andrade M. C., Andrades R., Pegado T., Giarrizzo T. 2020. Are the tidal flooded forest sinks for litter in the Amazonian estuary? *Marine Pollution Bulletin*. **161**: e 111732.
- Gonçalves N. V., Araujo E. N., Sousa Júnior A. de S., Pereira W. M. M., Miranda C. do S. C., Campos P. S. da S., Matos M. W. de S., Palácios V. R. da C. M. 2016. Distribuição espaço-temporal da leptospirose e fatores de risco em Belém, Pará, Brasil. *Revista Ciência & Saúde Coletiva*, **21**(12): 3947-3955, dez. <https://doi.org/10.1590/1413-812320152112.07022016>.
- Gregório A. M. S. & Mendes A. C. 2009b. Batimetria e sedimentologia da baía do Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. *Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*. **5**(9): 53-72, jul.
- Gregório A. M. S., Mendes A. C. 2009a. Characterization of sedimentar deposits at the confluence of two tributaries of the Pará River estuary (Guajará Bay, Amazon). *Continental Shelf Research*. **29** (3):609-618, Mar.
- Haberstroh C. J., Arias M. E., Yin, Z., Wang M. C. 2020. Effects of hydrodynamics on the cross-sectional distribution and transport of plastic in an urban coastal river. *Water environment research*. **93** p.186-200.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. 2011. Atlas *geográfico das zonas costeiras e oceânicas*. Rio de Janeiro, IBGE. Diretoria de Geociências, 268p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2019. *Panorama Acará*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/acara/panorama>. Acesso em: 09 set. 2019.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2018. *Panorama Belém*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>. Acesso em: 10 agosto. 2019.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. 2021. *Panorama Belém*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>. Acesso em 07 abril 2021.

- Instituto Trata Brasil. 2019. *Ranking do saneamento*. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking-2019/Relat%C3%B3rio_-_Ranking_Trata_Brasil_2019_v11_NOVO_1.pdf. Acesso em 25 de agosto 2019.
- Instituto Trata Brasil. 2021. *Ranking saneamento 2021*. Relatório simplificado. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_saneamento_2021/Ranking_do_Saneamento_2021_-_tabela_das_100_maiores_cidades_do_Brasil_.pdf. Acesso em 07 de abril 2021.
- Ivar do Sul J. A. & Costa M. F. 2013. Plastic pollution risks in an estuarine conservation unit. *Journal of coastal research*, **65** (10065):48-53.
- Jambeck J. R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T. R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K. L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. **347**:768-771, fev.
- Jiménez J. C., Fernández D. G., Fornier M., Schmidt N., Sempéré R. 2019. Macro-litter in surface water from the Rhone River: Plastic pollution and loading to the NW Mediterranean sea. *Marine Pollution Bulletin*. **146**:60-66, Set.
- Krejcie R. V. & Morgan D. W. 1970. Determining sample size for activities. *Educational and Psychological Measurement*. **30**: 607-610.
- Kukulka T., Proskurowski G., Morét-Ferguson S., Meyer D. W. Law K. L. 2012. The effect of Wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophysical Research letters*, **39**:1-6.
- Kumar D. & Katoch S. S. 2016. Environmental sustainability of run of the river hydropower projects: A study from western Himalayan region of India. *Renewable Energy*, **93**: 599-607, Augst.
- Kusui T. & Noda M. 2003. International survey on the distribution of stranded and buried litter on beaches along the Sea of Japan. *Marine Pollution Bulletin*, **47**:175-179.
- Lebreton L. C. M., Zwet J. V., Damsteeg J. W., Slat B., Andrady A., Reisser J. 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, **8**(1): 1-10.
- Lima G. F. C. 2015. Consumo e resíduos sólidos no Brasil: As contribuições da educação ambiental. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, **37**:47-57, set.
- Liro M., Van Emmerik T., Wyzga B., Liro J., Mikús P. 2020. Macroplastic storage and remobilization in rivers. *Water*, **12**:1-13.
- Liu T., Zhao Y., Zhu M., Liang J., Zheng S., Sun X. 2020. Seasonal variation of micro-and meso-plastic in the seawater of Jiaozhou Bay, the yellow Sea. *Marine Pollution Bulletin*, **152** : 110922, March. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110922>.
- Locritani M., Merlino S., Abbate M. 2019. Assessing the citizen Science approach as tool to increase awareness on the marine litter problem. *Marine Pollution Bulletin*, **140**:320-329, March.
- Mácola R. J. S. L., Mácola G. L., Maciel I. J. M., Menezes H. Q., Neves L. A. 2017. Levantamento das condições de saneamento da microbacia da bacia da Tamandaré do município de Belém/PA. In: Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, *Anais[...]*, ABES, p. 01-17.
- Mai L., Sun X. F., Xia L. L., Bao, L. J., Liu L. Y., Zeng E. Y. 2020. Global riverine plastic outflows. *Environmental Science & Technology*, **54**(16):10049-10056.

- Martinelli Filho J. E., Monteiro R. C. P. 2019. Widespread microplastic distribution at an Amazon macrotidal Sandy beach. *Marine Pollution Bulletin*, **145**:219-223.
- Matos F. C. 2010. *Caracterização qualitativa dos impactos ambientais causados pela ocupação urbana no igarapé do Tucunduba, Belém, Pa.* MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, São Paulo, 125p.
- Meijer L. J. J., Van Emmerik, T., Ent R. V., Schmidt C., Lebreton, L. 2021. More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Science Advances*, **7**(18): eaaz5803.
- Mian M. D. M., Zeng X., Nasry A. N. B., Al-Hamadi S. M. Z. F. 2017. Municipal solid waste management in China: a comparative analysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **19**(3):1127-1135, Maio.
- Miezah K., Obri-Danso K., Kádár Z., Fei-Baffoe B., Mensah M. 2015. Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana. *Waste management*, **46**:15-27, Dez.
- Montenegro M. R. 2011. *Globalização, trabalho e pobreza no Brasil metropolitano. O circuito inferior da economia urbana em São Paulo, Brasília, Fortaleza e Belém.* PhD, Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 303p.
- Morais L. M. S., Sarti, F., Chelazzi D., Cincinelli A. Giarrizzo T., Martinelli Filho J. E. 2020. The sea anemone *Bunodosoma cangicum* as a potential biomonitor for microplastics contamination on the Brazilian Amazon Coast. *Environmental Pollution*. **265**: 114817.
- Moreira F. S. A. 2018. *Análise socioambiental do município de Belém, Pará: Elementos para uma sustentabilidade urbana.* MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Belém, 96 p.
- Moss K., Allen D., Fernández D. G., Allen S. 2021. Filling in the knowledge gap: Observing MacroPlastic litter in South Africa's rivers. *Marine Pollution Bulletin*. **162**: e 111876.
- Neves P. A., Ferreira P. A. L., Bicego M. C., Figueira R. C. L. 2014. Radioanalytical assessment of sedimentation rates in Guajara' Bay (Amazon Estuary, N Brazil): a study with unsupported ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs modeling. *J Radioanal Nucl Chem*, **299**(1): 407-414.
- Nihei Y., Yoshida T., Kataoka T., Ogata R. 2020. High-resolution mapping of Japanese microplastic and macroplastic emissions from the Land into the Sea. *Water*, **12**:1-26.
- Novaes G. O., Monteiro S. M., Rollnic M. 2020. Microplastic on the Fluvio-estuarine Beaches of Cotijuba Island, Pará River Estuary (Brazil). *Journal of Coastal Research*. **95**:780-784.
- Nylander J. D. A. 2019. *Avaliação da utilização de comporta em eventos extremos de precipitação pluviométrica e de maré no canal de drenagem da Tamandaré.* MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 180 p.
- Oliveira A. L. & Turra A. 2015. Solid waste management in coastal cities: where are the gaps? Case study of the North Coastal of São Paulo, Brazil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, **15**(4):453-465.

- Paiva A. R. M., Tozi S. C., Lima J. A. S., Santos A. 2012. A bacia da Tamandaré e o simbolismo entre o rio-homem-cidade. *In: 6º Encontro Nacional das ANPPAS, Belém, Anais[...]. v.1.*
- Porto R. L., Z??? Filho K., Tucci C. E. M., Bidone F. 2009. Drenagem Urbana. *In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre, ABRH, p. 805-842.*
- Possatto F. E., Spach H. L., Cattani A. P., Lamour M. R., Santos L. O., Cordeiro N. M.A., Broadhurst M. K. 2015. Marine debris in a World Heritage Listed Brazilian estuary. *Marine Pollution Bulletin. 91:548-553.*
- Prefeitura Municipal De Belém. 2014. *Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém-Pará. v.1.*
- Rech S., Macaya-Caquilpán V., Pantoja J. F., Rivadeneira M. M., Madariaga D. J., Thiel M. 2014. Rivers as a source of marine litter- A study from the SE Pacific. *Marine Pollution Bulletin, 82(2):66-75.*
- Ribeiro-Brasil D. R. G., Torres N. R., Picanço A. B., Sousa D. S. Ribeiro V. S., Brasil L. S., Assis Montag L. F.de. 2020. Contamination of stream fish by plastic waste in the Brazilian Amazon. *Environmental Pollution, 266: e 115241.*
- Rodrigues C. C. S., Santos E., Ramos B. S., Damasceno F. C., Correa J. A. M. 2018. Baselines for Amazonic Surficial Sediments: A case of study in Guajará bay and Guamá river (Northern Brazil). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 100(6):786-791, Maio.*
- Sadri S. S. & Thompson R. C. 2014. On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine Pollution Bulletin, 81:55-60.*
- Santos B. M. *Eficiência de ecobarreiras em rio dominado por maré.* 2018. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Belém, 45p.
- Santos L. F., Sousa A. M. L., Faial K. C. F. 2018. Análise de metais no sedimento na baía do Guajará Belém/PA. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 9(4):315-325.*
- Santos S. N., Lafon J. M., Corrêa J. A. M., Babinski M., Dias F. F., Taddei M. H. T. 2012. Distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da baía do Guajará (Belém-Pará). *Química Nova, 35(2):249-256, nov.*
- Schmidt C., Krauth T., Wagnr S. 2017. Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environmental Science & Technology. 51:12246-12253.*
- Schwarz A. E., Ligthart T. N., Boukris E., Harmelen T. V. 2019. Sources, transport, and accumulation of diferente types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin, 143:92-100, Jun.*
- Silva A. L. A. 2016. *Uso da água na bacia urbana do igarapé do Tucunduba-Belém-PA.* MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Pará, Belém, 118p.
- Silva M. A. R., Canteral K. F. F., Pontes M. L. B., Silva Filho C. S., Souza P. H. N., Santos N. M., Santos A. S. 2018. Análise comparativa das formas de acondicionamento e destinação dos resíduos sólidos da população provenientes de diferentes bairros da cidade de Belém-Pa. *In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, n. 9º, Porto Alegre. Anais[...].*

- Silva Júnior A. R. 2018. *Indicadores de vulnerabilidade, risco socioambiental e educação ambiental para prevenção e mitigação de desastres natural na bacia hidrográfica do Tucunduba, Belém-Pa*. MS Dissertation, Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 91 p.
- Soares A. A. S., Carvalho A. C., Soares D. A. S., Bastos R. Z. 2018. Fundamentos para a gestão das inundações periódicas nas planícies de Belém (Pará-Brasil) com vistas ao seu desenvolvimento local. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, **39**: 1-21.
- Teixeira D. F. F., Siqueira B. S., Cattanio J. H. 2014. A importância da Aninga (*Montrichardia linifera*) na retenção de sedimentos na baía do Guajará, PA. **Revista de estudos ambientais**, **16**(2):6-19.
- Tong X., Jong M. C., Zhang J., You L., Gin K. Yew-Hoong. 2021. Modelling the spatial and seasonal distribution, fate and transport of floating plastic in tropical coast Waters. *Journal of Hazardous Materials*, **414**(15).
- Tramoy R., Gasperi J., Colasse L., Tassin B. 2020. Transfer dynamic of macroplastics in estuaries — new insights from the Seine estuary: Part 1. Long term dynamic based on date-prints on stranded debris. *Marine Pollution Bulletin*, **152**: e 110894.
- Tramoy R., Gasperi J., Colasse L., Tassin B. 2020. Transfer dynamic of macroplastics in estuaries- new insights from the Seine estuary: Part 1. Long term dynamic based on data-prints on stranded debris. *Marine Pollution Bulletin*, **152**. Esta repetido veja acima o mesmo
- Van Emmerik T., Kieu-Le T., Loozen M., Van Oeveren K. Strady, E., Bui X-T., Egger M., Gasperi J., Lebreton L., Nguyen P.-D., Schwarz A., Slat B., Tassin B. 2018. A methodology to characterize Riverine Macroplastic Emission into the Ocean. *Frontiers in Marine Science*, **5**:1-11.
- Van Emmerik T., Klaveren J. V., Meijer L. J. J., Krooshof J. W., Plamos D. A. A., Tanchuling, M. A. 2020. Manila River Mouths Act as Temporary Sinks for Macroplastic Pollution. *Frontiers in Marine Science*, **7**:1-8.
- Van Emmerik T., Tramoy R., Van Calcar C., Alligant S., Treilles R., Tassin B., Gasperi J. 2019. Seine plastic debris transport Tenfolded during increased river Discharge. *Frontiers in Marine Science*, **6**:1-7.
- Vikas M. & Dwarakish G. S. 2015. Coastal pollution: a review. *Aquatic Procedia*, **4**:381-388.
- Yukalang N., Clarke B., Ross K. 2018. Solid waste management solution for a rapid urbanization area in Thailand: stakeholder input based recommendations. *Environmental Research and Public Health*, **15**(7): 1302, Jun.
- Zeri C., Adamopoulou A., Varezic D. B., Fortibuoni T. KovačViršek M., Kržan A., Mandic M., Mazziotti C., Palatinus M., Prvan M., Ronchi F., Siljic J., Tutman P., Vlachogianni Th. 2018. Floating plastics in Adriatic Waters (Mediterranean Sea): from the macro-to micro-scale. *Marine Pollution Bulletin*, **136**:341-350.
- Zhou C., Liu X., Wang Z., Yang T., Shi L., Wang L., You S., Li M., Zhang C. 2016. Assessment of marine debris in beaches or seawaters around the China seas and coastal provinces. *Waste Management.*, **48**: 652-660, Fev.