



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE ESTUDOS COSTEIROS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

JENNY MÁRCIA PEREIRA LUZ

**ORIGENS TRANSOCEÂNICAS E DINÂMICA DE GARRAFAS PLÁSTICAS EM
UMA PRAIA RECRATIVA DA AMAZÔNIA: UM ESTUDO DE CASO NA PRAIA DE
AJURUTEUA, PARÁ, BRASIL**

BRAGANÇA-PARÁ

2025

JENNY MÁRCIA PEREIRA LUZ

**ORIGENS TRANSOCEÂNICAS E DINÂMICA DE GARRAFAS PLÁSTICAS EM
UMA PRAIA RECREATIVA DA AMAZÔNIA: UM ESTUDO DE CASO NA PRAIA
DE AJURUTEUA, PARÁ, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Licenciatura em Ciências Biológicas, Faculdade de Ciências Biológicas, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Prof.^a Dra. Luci Cajueiro Carneiro Pereira

Coorientadora: Prof.^a Msc. Brenda Ribeiro Padilha da Silva

BRAGANÇA – PARÁ

2025

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

P436o Pereira Luz, Jenny Márcia.
Origens transoceânicas e dinâmica de garrafas plásticas em uma
praia recreativa da Amazônia : Um estudo de caso na praia de
Ajuruteua, Pará, Brasil / Jenny Márcia Pereira Luz. — 2025.
ix, 41 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Luci Cajueiro Carneiro Pereira
Coorientador(a): Prof^ª. MSc. Brenda Ribeiro Padilha da Silva
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Bragança, Faculdade de Ciências
Biológicas, Bragança, 2025.

1. Praia de Ajuruteua. 2. Zona Costeira Amazônica. 3.
Resíduos transoceânicos. I. Título.

CDD 363.739409162

JENNY MÁRCIA PEREIRA LUZ

**ORIGENS TRANSOCEÂNICAS E DINÂMICA DE GARRAFAS PLÁSTICAS EM
UMA PRAIA RECREATIVA DA AMAZÔNIA: UM ESTUDO DE CASO NA PRAIA
DE AJURUTEUA, PARÁ, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Licenciatura em Ciências Biológicas, Faculdade de Ciências Biológicas, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Prof.^a Dra. Luci Cajueiro Carneiro Pereira

Coorientadora: Prof.^a Msc. Brenda Ribeiro Padilha da Silva

Data de aprovação: 05/11/2025

Banca Examinadora

Professora Doutora Luci Cajueiro Carneiro Pereira
Orientadora – UFPA

Professor Dra. Rosigleyse Corrêa de Sousa Felix
Examinador interno – UFPA

Professor Dra. Ingrid Padilha de Souza
Examinador interno - UFPA

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará por ter sido uma segunda casa por todos esses anos vividos, e ao CNPq pela concessão da bolsa.

À minha orientadora, Dr.^a Luci Cajueiro, por ter me recebido em seu laboratório e por me compreender no meu maior momento de vulnerabilidade; seu altruísmo me salvou. Tive muitas experiências e aprendizado no LOCE (Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina), que proporcionou a realização deste trabalho.

À minha família, em especial, ao meu pai Aldemir Sousa Luz (ele foi minha primeira inspiração ao escolher Biologia), à minha mãe Denise Márcia Sousa Pereira (por sempre acreditar em mim, sua força me faz ir além); aos meus irmãos Angélica, Leonardo e Abraão, e ao meu cunhado Giancarlo Júnior (meu segundo pai, meu eterno conselheiro); aos meus sobrinhos lindos, Alice e Arthur, amo todos vocês. E a essa pessoa que entrou na minha vida, o seu José, meu padraсто. Saibam que são meu alicerce; sem vocês eu nada seria. Às minhas tias e tios, primos e primas, que aqui são muitos (risos), em especial a um primo, Alberto, meu melhor amigo.

Aos meus avós *in memoriam*, o paizinho Severiano Francisco Pereira e mãezinha Raimunda Sousa Pereira, eu os carrego em meu coração enquanto eu viver.

À minha companheira, Brenda, que me atura todos os dias, amo muito você, e à Eliene ("chaveirinho").

Aos meus amigos, em especial ao Vinícius Cunha e Mariane (prima) por estarem ao meu lado em muitas etapas da minha vida; à Jakeline por nossas conversas e cafés da tarde em sua casa; e ao Coral Vivo, que me presenteou com uma pessoinha muito especial, Bianca Espindola (minha dupla de PROEX). Não posso esquecer de uma pessoa que entrou em minha vida: a Dr.^a Marivana, que foi uma das melhores professoras que a UFPA me presenteou, obrigada por sua amizade.

O primeiro agradecimento será sempre a Deus, Ele que é meu refúgio e, creio, me guiará nesta nova jornada.

“Talvez haja apenas um pecado capital: a impaciência. Devido à impaciência, fomos expulsos do Paraíso; devido à impaciência, não podemos voltar.”

Franz Kafka

RESUMO

Este estudo analisou a origem e a dinâmica de garrafas plásticas alóctones acumuladas na Praia de Ajuruteua, nordeste do Pará, Amazônia brasileira. O objetivo foi caracterizar a composição e rastrear as origens de garrafas plásticas encontradas na praia. Foram realizados monitoramentos mensais entre fevereiro de 2023 e janeiro de 2024, integrando dados de resíduos e variáveis hidrodinâmicas. Ao todo, foram coletados 596 itens, sendo 99% plásticos, com 52,7% de origem africana e 38,9% asiática, totalizando 171 marcas de 48 países. A Mauritânia (32%) e a China (27,5%) destacaram-se como principais fontes, com associação altamente significativa entre país e frequência de resíduos ($\chi^2 = 1.396,231$; $p < 0,001$; $\phi_c = 0,985$). A predominância de garrafas de água mineral de PET (93,9%) reflete tanto a ubiquidade do material quanto sua resistência ambiental. As datas de validade indicaram deposição recente (≤ 2 anos), sugerindo descartes ilegais por embarcações transoceânicas, reforçados pelo intenso tráfego marítimo regional. Ventos de NE (até $12,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), ondas médias de 1,7 m e correntes de até $0,16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ favoreceram o transporte e deposição dos resíduos. Conclui-se que a Praia de Ajuruteua atua como receptora de resíduos plásticos transoceânicos, sendo influenciada por fatores oceanográficos e antrópicos. Os resultados reforçam a necessidade de cooperação internacional e políticas integradas de manejo costeiro, visando reduzir a entrada de plásticos e promover a sustentabilidade em praias amazônicas.

Palavras-chave: Praia de Ajuruteua; Zona Costeira Amazônica; Resíduos Transoceânicos.

ABSTRACT

This study analyzed the origin and dynamics of allochthonous plastic bottles accumulated on Ajuruteua Beach, northeastern Pará, Brazilian Amazon coast. The aim was to characterize the composition and trace the origins of plastic bottles found on the beach. Monthly monitoring was conducted between February 2023 and January 2024, integrating litter data and hydrodynamic variables. A total of 596 items were collected, 99% of which were plastics, with 52.7% originating from Africa and 38.9% from Asia, totaling 171 brands from 48 countries. Mauritania (32%) and China (27.5%) stood out as the main sources, with a highly significant association between country and litter frequency ($\chi^2 = 1,396.231$; $p < 0.001$; $\phi_c = 0.985$). The predominance of PET mineral water bottles (93.9%) reflects both the ubiquity of this material and its environmental persistence. Expiration dates indicated recent deposition (≤ 2 years), suggesting illegal disposal by transoceanic vessels, reinforced by intense regional maritime traffic. NE winds (up to $12.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), mean waves of 1.7 m, and currents up to $0.16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ favored the transport and deposition of litter. We conclude that Ajuruteua Beach acts as a receptor of transoceanic plastic debris, influenced by both oceanographic and anthropogenic factors. The results reinforce the need for international cooperation and integrated coastal management policies to reduce plastic inputs and promote sustainability on Amazon beaches.

Keywords: Ajuruteua Beach; Amazon Coastal Zone; Transoceanic Debris.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa da área de estudo. A: Estado do Pará. B: Município de Bragança, mostrando o ponto de coleta de dados de ventos e ondas (triângulo vermelho). C: Área de amostragem na Praia de Ajuruteua.	14
Figura 2. Distribuição da origem do lixo alóctone encontrada na praia de Ajuruteua, com destaque para os países que mais contribuíram com a contaminação, com tonalidade entre azul e vermelho. A coloração azul claro representa os países que apresentaram < 20 unidades.	18
Figura 3. Número dos resíduos alóctones, incluindo as marcas Top 5 por mês e o número total de resíduos por mês.	19
Figura 4. Fotos das principais marcas coletadas neste estudo. A) Tijiriti; B) ES-SAVI; C) El-Afia Tayba; D) Master Kong; E) NongFu Spring e F) Cactus.	20
Figura 5. Volume total dos resíduos alóctones encontrados, com destaque para aqueles procedentes da China e Mauritânia.	21
Figura 6. Data de validade das marcas de garrafas predominantes e do total de marcas por ano.	23
Figura 7. Tráfego marítimo de embarcações operando nas águas oceânicas próximas. O círculo vermelho indica a área de estudo. Fonte: MarineTraffic, imagem capturada em 22 de outubro de 2025.	24
Figura 8. Variação de maré durante o período de estudo, destacando os dias de coleta de CCR em vermelho traçado e os dias de coleta de resíduos em azul escuro traçado.	25
Figura 9. Valores mensais de precipitação pluviométrica.	26
Figura 10. Valores diários da velocidade dos ventos (Vel. média e Vel. máxima) entre janeiro de 2023 e janeiro de 2024 (A), média e desvio padrão dos valores de velocidade máxima na estação seca e chuvosa (B), e direção e velocidade máxima dos ventos durante as estações chuvosa e seca (C, D).	27
Figura 11. Valores diários da altura de ondas (Hs e Hmax) entre janeiro de 2023 e janeiro de 2024 (A), média e desvio padrão dos valores de Hmax na estação seca e chuvosa (B), e direção e altura Hmax das ondas durante as estações chuvosa e seca (C, D).	28
Figura 12. Valores diários da velocidade das correntes entre janeiro de 2023 e janeiro de 2024 (A), média e desvio padrão dos valores de velocidade das correntes na estação seca e chuvosa (B), e direção e velocidade máxima das correntes durante as estações chuvosa e seca (C, D).	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. ÁREA DE ESTUDO	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Resíduos Alóctones	15
3.2 Análise das Condições Hidrodinâmicas e Climatológicas	16
3.3 Análise Estatística	17
4. RESULTADOS	17
4.1 Caracterização dos Resíduos Alóctones	17
4.2 Condições Oceanográficas	24
5. DISCUSSÃO	30
5.1. Resíduos Alóctones: Origem e Fontes	30
5.2 Caracterização dos Resíduos (Idade, Composição e Conservação)	31
5.3 Limitações Naturais e Antrópicas.....	32
5.4 Implicações para a Gestão	33
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

A relação humana com os ambientes costeiros tem sido historicamente moldada pela prática do “lazer de sol e mar”, uma forma popular de turismo centrada em cenários praianos que promove relaxamento e recreação sob o sol e próximo à água (Mendoza-González et al., 2018). No entanto, o impacto do turismo costeiro vai muito além da linha da costa, abrangendo dimensões econômicas, sociais, ambientais e culturais, com efeitos tanto benéficos quanto adversos (Dall’Agnol, 2012; Souza; Neves, 2024). Estudos recentes têm aprofundado a compreensão desses impactos, com revisões sistemáticas destacando a complexidade das interações entre o turismo e os serviços ecossistêmicos costeiros e marinhos (Baltranaitė et al., 2025).

Entre os aspectos positivos destacam-se a entrada de receitas internacionais, a geração de empregos locais, o desenvolvimento de infraestrutura e a promoção da conservação ambiental e cultural (Alexandre; Macedo; Araújo, 2019). Por outro lado, os desafios incluem a degradação dos recursos naturais como a mudanças na formação das dunas e vegetação nativa (floresta de manguezal), a poluição gerada pelas atividades turísticas e a exclusão das comunidades locais dos processos de planejamento e dos benefícios econômicos (Coccosis; Mexa, 2017; Mariano, 2025).

Neste cenário, a busca por um turismo mais responsável e sustentável tem se destacado em áreas costeiras, onde a contaminação por lixo marinho se configura como uma das principais problemáticas (Lanzarini; Barreto, 2023). Em escala global, a poluição por estes resíduos sólidos emergiu como uma das questões ambientais mais urgentes da atualidade (Beaumont et al., 2019; Bertolucci et al., 2020; Dias, 2024), uma vez que esses resíduos são descartados de forma intencional ou acidental podendo alcançar ambientes marinhos e costeiros, causando problemas diversos, inclusive afetando o turismo.

O lixo marinho é composto por uma variedade de materiais, sendo o plástico o mais prevalente — representando mais de 70% dos detritos encontrados nos oceanos (Galvani, 2015; Gall; Thompson, 2015; Lavers; Bond; Hutton, 2014). A persistência do plástico no ambiente marinho e seus desafios para a economia, inclusive para o turismo, são temas de crescente preocupação (Fernandino; Agostini; Elliff, 2025). Isto ocorre devido à sua baixa degradabilidade e flutuabilidade, podendo ser transportado por longas distâncias, acumulando-

se tanto em regiões remotas e isoladas quanto em áreas turísticas (Assis et al., 2023; Lavers; Bond, 2017; Ryan et al., 2019; Thiel et al., 2013).

O estudo de itens plásticos, como garrafas e tampas — comumente encontrados em zonas costeiras — permite identificar as principais fontes de poluição, distinguindo entre origens locais e externas (Perumal et al., 2023; Ryan, 2023). No que diz respeito à contaminação transfronteiriça, os desafios para a gestão ambiental e a implementação de políticas eficazes têm se tornado cada vez maiores (Benito-Kaesbach et al., 2024; Nelms et al., 2020; Soto-Navarro et al., 2021).

Apesar de iniciativas como a Convenção MARPOL e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) — especialmente o ODS 14 — Os esforços atuais ainda são insuficientes para enfrentar a magnitude do problema. A ausência de gestão local e a influência das rotas marítimas regionais agravam significativamente a situação, favorecendo o acúmulo e a dispersão dos resíduos ao longo da costa. Assim, compreender a origem dos detritos marinhos é essencial para subsidiar a formulação de políticas públicas e promover ações coordenadas nos âmbitos local, regional e internacional.

A Zona Costeira Amazônica inclui diversas praias recreacionais e protegidas e não está imune à contaminação por resíduos alóctones, esses resíduos são de origens internacionais, ou seja, são trazidos por correntes oceânicas até ao continente, nesse caso na costa amazônica (Assis et al., 2023, 2025; Piedade Junior; Silva; Castro, 2022). No entanto, a compreensão das dinâmicas dos detritos alóctones em praias recreacionais e aquelas protegidas amazônicas ainda é limitada. Essa lacuna é particularmente relevante, considerando que praias sob intensa pressão antrópica podem apresentar perfis de contaminação distintos, combinando fontes locais e transoceânicas (Ryan, 2023).

Neste contexto, o descarte ilegal de embarcações internacionais em águas costeiras adjacentes tem sido relatado como uma das fontes para a presença de lixo em praias amazônicas, como relatado por (Assis et al., 2023, 2025). Além disso, as condições hidrodinâmicas como a direção do vento, altura de ondas e velocidade de correntes e climáticas como a precipitação local desempenham um papel crítico no transporte e deposição de resíduos marinhos ao longo da costa (Souza et al., 2025).

Para mostrar como o descarte ilegal de resíduos transfronteiriços podem afetar a costa amazônica, este estudo foi realizado na Praia de Ajuruteua, uma praia rural localizada na costa Amazônica. Esta praia rural é uma das praias marinhas mais visitadas no Estado do Pará, atraindo um número expressivo de visitantes, especialmente durante as temporadas de pico turístico (Pessoa et al., 2013). Tais elementos reforçam a importância da Praia de Ajuruteua a mesma se encontra na borda da Reserva Extrativista Caeté-Taperaçu – RESEX, não fazendo parte da mesma, a praia não é apenas um espaço de lazer, mas também como área que demanda estratégias de manejo ambiental e ordenamento territorial voltadas à conservação e à sustentabilidade das atividades turísticas. Desta forma, identificar as fontes e a composição desses resíduos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão e mitigação deste tipo de contaminação tanto à nível local, quanto regional e internacional.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo caracterizar a composição e rastrear as origens de garrafas plásticas encontradas na Praia de Ajuruteua, testando a hipótese de que a dinâmica de contaminação por detritos alóctones é significativamente influenciada por mecanismos de transporte transoceânico, que ao alcançarem as áreas costeiras têm sua distribuição, acúmulo e exposição moldados pela hidrodinâmica e climatologia local. Os resultados obtidos podem contribuir para a compreensão dessa problemática em outras praias amazônicas.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na costa nordeste do estado do Pará (Figura 1), região caracterizada por um litoral fortemente recortado, formado por ilhas, baías e extensos sistemas estuarinos. Essa zona costeira é influenciada por macromarés semidiurnas (com alturas variando entre 4 e 6 m), ondas de altura significativa inferior a 1,7 m ($H_s < 1,7$ m) e correntes de maré que podem atingir velocidades entre 1,5 e 2,0 m s⁻¹ (Pereira et al., 2016).

Ajuruteua é uma praia oceânica de barreira localizada entre dois canais de maré (Barca e Chavascal), nas proximidades da Reserva Extrativista Marinha Caeté–Taperaçu (Brasil, 2005; ICMBio, 2012). Inserida em uma das maiores faixas contínuas de manguezais do planeta (Souza-Filho et al., 2005), a praia é delimitada por estuários, campos de dunas e extensas

florestas de mangue dominadas por *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* (Souza Filho; Martins; Costa, 2006).

Com cerca de 2,5 km de extensão e largura variável entre 300 e 400 m durante as marés baixas de sizígia, Ajuruteua apresenta sedimentos compostos predominantemente por areia quartzosa fina a muito fina (Alves; El-Robrini, 2006). Morfologicamente, constitui uma crista praias em arco com orientação NO–SE, sendo o setor noroeste o mais suscetível à erosão costeira (Souza-Filho et al., 2005).

O clima equatorial é quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa (janeiro a junho) e outra seca (julho a dezembro). A precipitação anual supera 2.500 mm, concentrando-se entre 75% e 90% no período chuvoso. As temperaturas médias anuais variam entre 26°C a 29°C, enquanto os ventos predominantes, provenientes do Nordeste, apresentam velocidades médias de 2 à 4 m s⁻¹, podendo alcançar até 8 m s⁻¹ (“INMET”, 2025).

A Praia de Ajuruteua é reconhecida como um dos principais destinos turísticos do litoral nordeste paraense, oferecendo atividades como natação, caminhadas, surf e kitesurf. Por outro lado, a localidade apresenta elevada pressão antrópica associada às atividades recreativas (Pereira, 2014; Souza et al., 2025). Nos últimos anos, observa-se um processo acelerado e desordenado de urbanização, impulsionado pela construção de um calçadão e de estruturas de contenção costeira, o que favoreceu a expansão de empreendimentos turísticos privados (Mösso; Pereira, 2025). Contudo, o desenvolvimento descontrolado tem intensificado os problemas ambientais, especialmente a acumulação dos resíduos marinhos. Apesar da existência de serviços municipais de limpeza, o volume de materiais transportados por correntes oceânicas permanece elevado, configurando um desafio ambiental de grande magnitude (Souza et al., 2025).

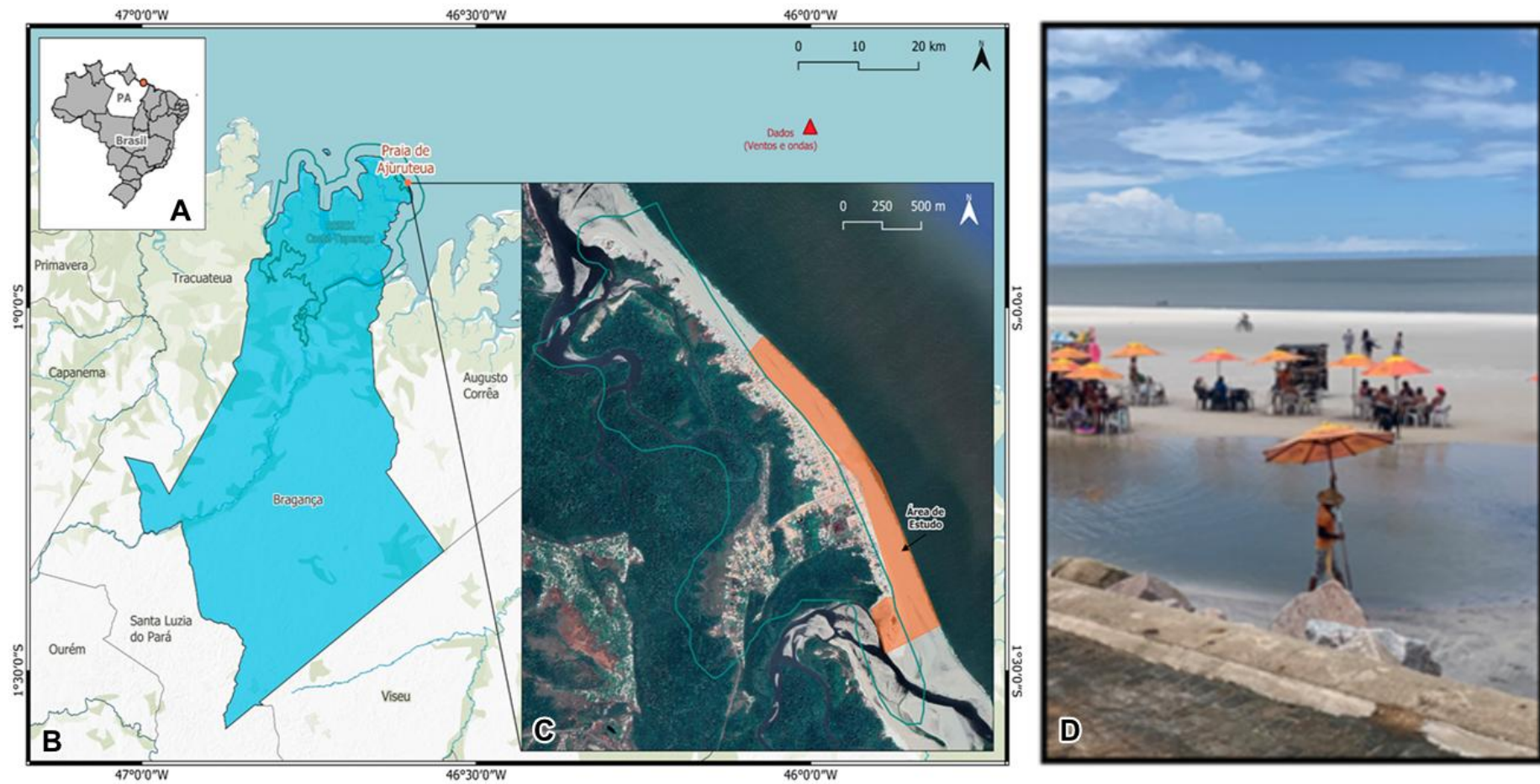


Figura 1. Mapa da área de estudo. A: Estado do Pará. B: Município de Bragança, mostrando o ponto de coleta de dados de ventos e ondas (triângulo vermelho). C: Área de amostragem na Praia de Ajuruteua.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Resíduos Alóctones

O levantamento dos resíduos alóctones (> 2,5 cm) realizado na Praia de Ajuruteua baseou-se em campanhas de campo conduzidas durante marés de sizígia, ao longo de um transecto fixo de 2,3 km estabelecido paralelamente à linha da costa e georreferenciado com auxílio de um dispositivo GPS (Garmin eTrex® 30x), seguindo o protocolo adaptado de (Ryan, 2020) e posteriormente plotado em imagem do Google Earth. A coleta incluiu desde áreas com dunas a áreas adjacentes ao enrocamento que protege o muro de arrimo da orla.

Cada campanha foi realizada por pelo menos dois pesquisadores experientes que percorreram o trajeto em paralelo por toda a praia de uma ponta a outra iniciando do canal da barca em direção ao canal do Chavascal, coletando todo material alóctone visível dentro de uma faixa de 10 metros a partir da última linha de preamar. Ao todo, foram realizadas doze campanhas mensais entre fevereiro de 2023 e janeiro de 2024. A distribuição mensal dos resíduos alóctones foi analisada com o objetivo de identificar possíveis padrões temporais. Todos os itens coletados foram encaminhados ao Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina da Universidade Federal do Pará para análise.

No laboratório, os itens coletados tiveram suas marcas, países de origem e outras características identificadas. Para cada item, foram registradas informações sobre marca do fabricante, conteúdo, volume, país de origem, data de fabricação e data de validade. Esses dados foram obtidos por meio da observação de detalhes ou marcações presentes no rótulo, tampa, gargalo ou base dos recipientes, conforme os procedimentos descritos por (Ryan et al., 2021) e (Bui et al., 2024). Nos casos em que as marcações não foram facilmente identificáveis, foram feitas comparações com amostras previamente catalogadas pelo grupo de pesquisa. Também foram realizadas buscas online em sites especializados, como pet35.canaco.org e bottlecaps.de/db, para auxiliar no processo de identificação. Outras informações coletadas para cada garrafa incluíram: mês de coleta, tipo de produto (ex.: água mineral, refrigerante, cosmético, alimento, produto de limpeza e químico) e tipo de material (plástico, vidro, papel, metal).

As garrafas plásticas também foram classificadas de acordo com o tipo de polímero, seguindo o Sistema Internacional de Codificação de Resinas. Esse sistema atribui códigos como

tereftalato de polietileno (PET = 1), polietileno de alta densidade (HDPE = 2) e polietileno de baixa densidade (LDPE = 3). Considerando a importância das tampas para a flutuabilidade dos recipientes, o tipo de polímero das tampas também foi registrado, conforme especificado por (Ryan, 2020).

Todos os dados foram compilados e organizados em planilhas no formato .xlsx. Para a análise, as planilhas foram consolidadas em um único conjunto de dados. A coluna referente ao mês de coleta foi padronizada para garantir consistência, e a coluna “data de validade” foi convertida para o formato de data, permitindo análises temporais sobre a idade das garrafas.

3.2 Análise das Condições Hidrodinâmicas e Climatológicas

A segunda etapa da metodologia concentrou-se na análise das condições hidrodinâmicas e climatológicas. Essa abordagem permitiu uma avaliação dos fatores que influenciam a distribuição e o transporte de lixo marinho na região da Praia de Ajuruteua. Para isso, foram utilizados dados sobre variação das marés; precipitação; intensidade e direção dos ventos; altura, período e direção das ondas; e intensidade e direção das correntes.

Durante o período de estudo, dados de variação de maré foram obtidos da estação de Salinópolis (localizada em 0°37'0.00"S, 47°20'60.00"W) e fornecidos pelo Centro de Hidrografia da Marinha (“CHM”, 2025) para todo o período de estudo. Os dados diários de precipitação foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (“INMET”, 2025), a partir da estação meteorológica localizada em Tracuateua, a 36 m de altitude e aproximadamente 17 km a oeste da cidade de Bragança. As condições de vento foram extraídas do modelo ERA5 do Centro Europeu de Previsão do Tempo de Média Distância (ECMWF), por meio do Google Earth Engine, considerando a velocidade e a direção da rajada de vento máximo (*gust*) para cada dia do período de estudo. Os dados diários de intensidade e altura das ondas para todo o período foram obtidos das informações do Serviço Marinho Copernicus da U.E (<https://doi.org/10.48670/moi-00016>; <https://doi.org/10.48670/moi-00017>). As correntes oceânicas diárias foram obtidas a partir do modelo HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) desenvolvido pelo Programa Nacional de Parceria Oceânica (NOPP), como parte do Experimento Global de Assimilação de Dados Oceânicos dos EUA (GODAE), também via Google Earth Engine.

Adicionalmente, foi utilizado o modelo de transporte oceânico de plásticos proposto por Seville; England; Froyland (2012), disponível em <https://PlasticAdrift.org/>, para estimar o tempo de migração dos detritos plásticos por meio das correntes oceânicas. Para avaliar a influência do tráfego de embarcações em alto-mar, também foram consultadas informações do site MarineTraffic (<https://www.marinetraffic.com/>).

Todos os dados foram organizados em planilhas Excel para facilitar as análises estatísticas subsequentes e a elaboração das figuras apresentadas neste estudo.

3.3 Análise Estatística

Todos os dados coletados foram previamente organizados e tabulados no software Microsoft Excel. As análises estatísticas, incluindo estatísticas descritivas básicas (média, mínimo, máximo e desvio padrão), bem como os testes inferenciais descritos a seguir, foram realizadas utilizando o software IBM SPSS 25.

Para a análise dos resíduos alóctones, os testes de normalidade e homogeneidade foram dispensados devido à natureza discreta dos dados, uma vez que sua realização poderia introduzir vieses ao desconsiderar os valores inteiros distintos, dificultando a caracterização de uma distribuição normal (Uckardes; Korkmaz; Ocal, 2013).

Para investigar a associação entre a frequência de garrafas amostradas e variáveis categóricas, aplicou-se o teste não paramétrico de independência qui-quadrado (χ^2), abrangendo fatores como continente, país de origem, mês de coleta, marca, tipo de produto (água mineral, bebidas alcoólicas, bebidas não alcoólicas, cosméticos, produtos alimentícios, produtos de limpeza e químicos), volume e data de validade. As datas de validade foram previamente categorizadas em intervalos temporais específicos: superior a 10 anos, entre 6 e 10 anos, entre 3 e 5 anos, mais de 2 anos, até 2 anos e dentro do prazo de validade. Adicionalmente, o coeficiente V de Cramer (ϕ_c) foi utilizado para quantificar a intensidade da associação entre as variáveis categóricas.

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização dos Resíduos Alóctones

Um total de 596 itens foram coletados, dos quais 99% foram garrafas plásticas, enquanto uma pequena porcentagem foi composta por vidro. Desses itens, 3,5% foram de países dos

continentes americanos, 52,7% africanos, 38,9% asiáticos, 4,7% europeu e 0,2% da Oceania, perfazendo um total de 171 marcas distribuídas em 48 países.

A análise mensal revelou variação significativa na distribuição continental dos resíduos ($\chi^2 = 821,845$; $df = 60$; $p < 0,001$). Por exemplo, em março e fevereiro, a predominância de resíduos asiáticos e africanos foi mais evidente, enquanto em dezembro houve maior representação europeia (Figura 2). A distribuição por país também foi altamente significativa ($\chi^2 = 1.396,231$; $df = 588$; $p < 0,001$), com destaque para Mauritânia e China em praticamente todos os meses, evidenciando padrões consistentes de transporte e deposição de resíduos.

Quanto à composição dos materiais, a grande maioria dos recipientes (98%) eram de plástico. Entre os tipos de polímero identificados, o tereftalato de polietileno (PET) foi o mais prevalente, presente em 93,9% das garrafas de água. O polietileno de alta densidade (HDPE) representou 5,6%, especialmente em cosméticos e produtos químicos — estes últimos representados por apenas dois itens. Uma pequena proporção (0,5%) consistiu em recipientes de vidro. A análise detalhada desses itens revelou padrões significativos relacionados à origem, marca e tipo de produto.

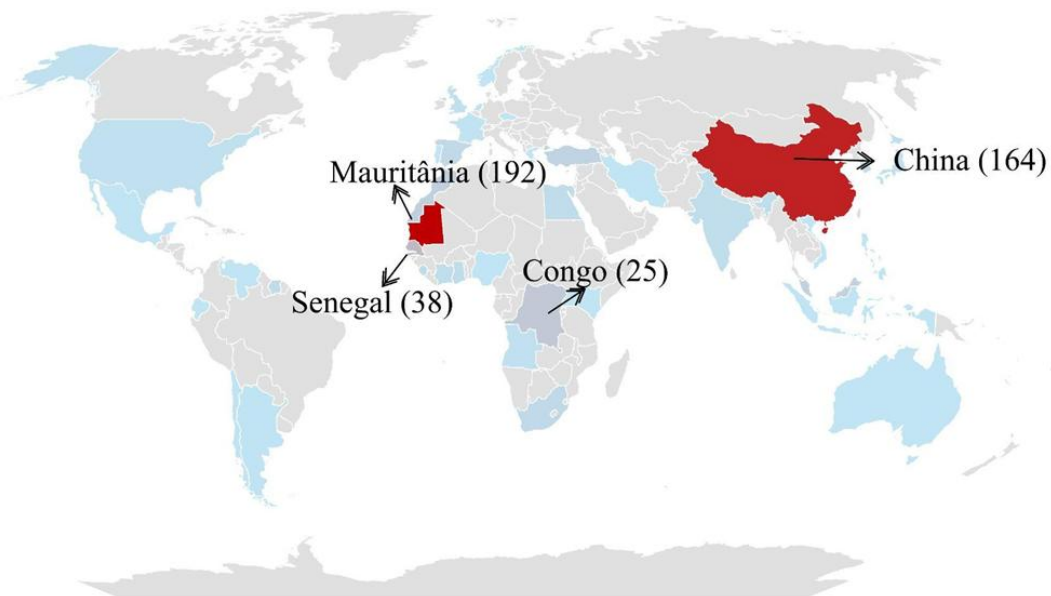


Figura 2. Distribuição da origem do lixo alóctone encontrada na praia de Ajuruteua, com destaque para os países que mais contribuíram com a contaminação, com tonalidade entre azul e vermelho. A coloração azul claro representa os países que apresentaram < 20 unidades.

Foi observada uma associação estatisticamente significativa e forte entre o número de recipientes coletados e suas respectivas localizações geográficas ($\phi_c = 0,985$; $p < 0,001$). A Mauritânia destacou-se como principal fonte de poluição marinha do continente africano, representando 32% de todos os resíduos identificados, enquanto a China foi o maior contribuinte da Ásia, com 27,5% do total encontrado (Figura 3).

As marcas mais frequentemente registradas também apresentaram associação significativa com seus países de origem ($\chi^2 = 36.378,481$; $df = 8.281$; $p < 0,001$). Na Mauritânia, as marcas predominantes foram Tijiriti (13,6%), ES-SAVI (9,1%) e El-Afia Tayba (4,7%), enquanto na China, Master Kong (10,7%) e NongFu Spring (9,1%) foram as mais comuns (Figura 3). As marcas Sidiali (Marrocos), Kirene (Senegal), Cactus (Malásia) e Oasis (Índia) também foram predominantes em alguns meses, mas representaram aproximadamente 4% do número total de garrafas ($\chi^2 = 3.229,394$; $df = 2.028$; $p < 0,001$). Os meses de fevereiro e março registraram os maiores volumes de itens, com destaque para a marca Tijiriti em fevereiro e Master Kong em março, juntamente com os meses de setembro e novembro. Em contraste, os meses de julho, agosto e dezembro apresentaram as menores quantidades.

No mês de dezembro, sobressaíram as marcas Kirène e Cactus, além das chinesas Master Kong e NongFu Spring. A análise confirmou uma forte associação entre marcas e seus respectivos países de origem ($\phi_c = 0,988$; $p < 0,001$).

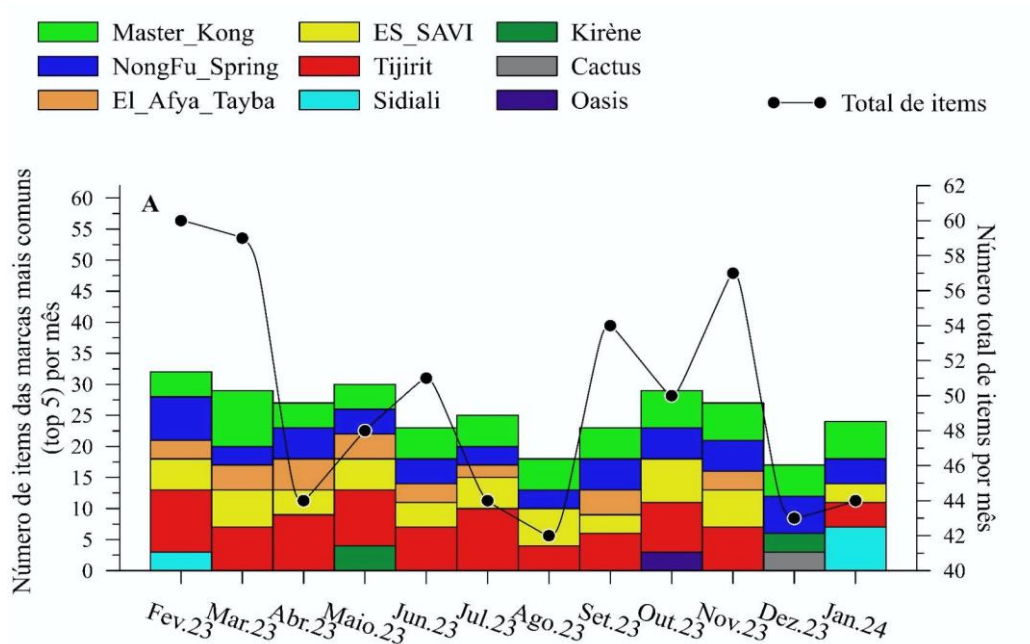


Figura 3. Número dos resíduos alóctones, incluindo as marcas Top 5 por mês e o número total de resíduos por mês.

A Figura 4 mostra garrafas plásticas das principais marcas coletadas. A análise do conjunto de amostras revelou que a maioria das garrafas não possuía rotulagem. No entanto, os poucos exemplares que apresentavam rótulos forneceram elementos de design suficientes para a identificação de garrafas semelhantes. Um caso particular foi o da marca ES-SAVI, de origem mauritana. Embora nenhum dos seus exemplares estivesse rotulado, foi possível a sua identificação mediante a presença do nome em alto-relevo na porção superior do recipiente, o qual foi grafado de forma bilíngue, em árabe e em caracteres latinos (ES-SAVI).



Figura 4. Fotos das principais marcas coletadas neste estudo. A) Tijiriti; B) ES-SAVI; C) El-Afia Tayba; D) Master Kong; E) NongFu Spring e F) Cactus.

Em termos de volume total (Figura 5), a China também liderou com 28,4% do volume geral (169,8 L), enquanto a Mauritânia representou 30,8% (184,2 L). Os recipientes de água

mineral foram os mais frequentes ($\chi^2 = 1.870,367$; $df = 343$; $p < 0,001$), representando 84,9% de todas as amostras por país. Foi identificada uma associação moderada entre os tipos de produto e seus países de origem ($\phi_c = 0,593$; $p < 0,001$). Outros tipos de recipientes incluíram bebidas alcoólicas, bebidas não alcoólicas (sucos, bebidas lácteas e refrigerantes), alimentos, cosméticos e produtos químicos.

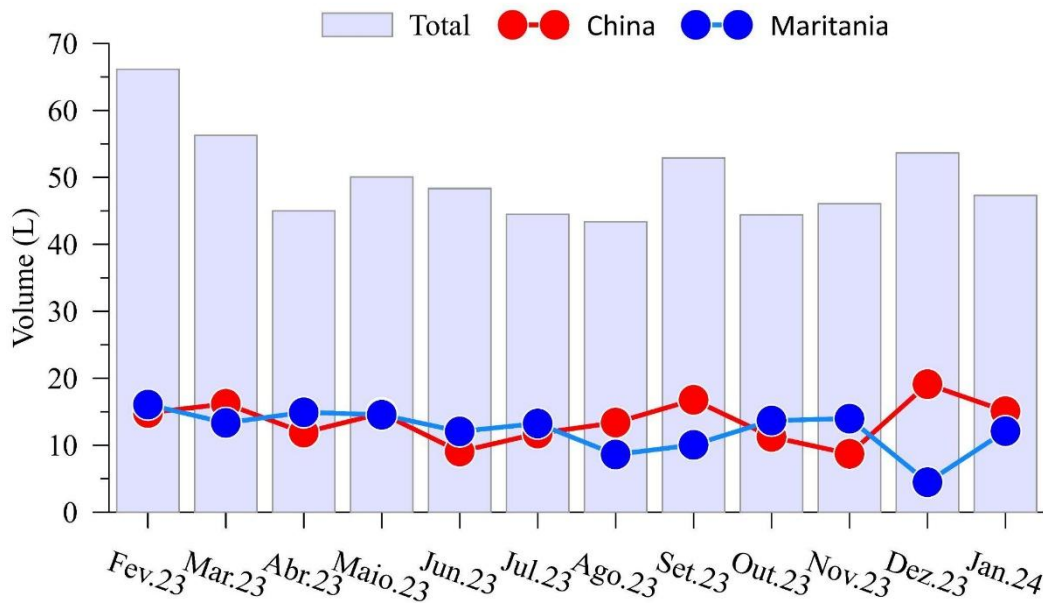


Figura 5. Volume total dos resíduos alóctones encontrados, com destaque para aqueles procedentes da China e Mauritânia.

Dos 596 itens coletados, 325 tiveram identificação quanto à data de validade. A associação entre o mês de coleta e a validade foi altamente significativa ($\chi^2 = 906,014$; $df = 48$; $p < 0,001$), indicando variação temporal na frequência de resíduos depositados. A maioria dos itens correspondia a produtos com até dois anos desde a fabricação, com concentrações mais elevadas em meses específicos, como fevereiro e setembro. Produtos dentro do prazo de validade totalizaram 14 itens, com picos em dezembro, enquanto itens com validade entre 6 e 10 anos ($n = 10$) foram observados de forma esporádica, sugerindo deposição majoritariamente recente.

A análise segundo o continente de origem dos produtos também evidenciou associação significativa ($\chi^2 = 973,452$; $df = 20$; $p < 0,001$). Produtos provenientes da África apresentaram predominância de itens com validade até dois anos ($n = 81$), indicando rápida circulação e

deposição, enquanto produtos asiáticos apresentaram maior diversidade de validade, incluindo itens entre 3 e 5 anos ($n = 110$), possivelmente refletindo rotas de transporte marítimo mais longas ou ciclos de distribuição prolongados.

A análise por país de origem revelou associação altamente significativa ($\chi^2 = 1.327,847$; $df = 148$; $p < 0,001$). A China ($n = 132$) e a Mauritânia ($n = 63$) destacaram-se como principais fornecedores, com produtos majoritariamente dentro do prazo de até dois anos de validade. Países como Congo, Coreia do Sul e Malásia apresentaram maior dispersão entre categorias de validade, indicando diferenças na dinâmica de produção, transporte e deposição. A maioria dos países apresentou poucos itens com validade superior a cinco anos, reforçando a tendência de deposição recente.

Em relação à marca, a associação com a validade também foi altamente significativa ($\chi^2 = 1.665,947$; $df = 280$; $p < 0,001$). Marcas africanas e asiáticas, como El-Afia Tayba e Master Kong, concentraram-se em itens até dois anos e dentro do prazo (Figura 6), enquanto marcas europeias ou de menor representatividade apresentaram maior dispersão entre 3 e 10 anos, sugerindo que produtos com ampla distribuição global tendem a ter ciclos de consumo e descarte mais rápidos.

Finalmente, a análise por tipo de produto indicou associação significativa entre especificação e validade ($\chi^2 = 801,434$; $df = 20$; $p < 0,001$). Garrafas de água mineral ($n = 290$) apresentaram predominância de itens de até dois anos ($n = 136$), refletindo descarte rápido após consumo. Produtos cosméticos e bebidas não alcoólicas foram menos frequentes, mas alguns itens apresentaram validade entre 3 e 5 anos, evidenciando transporte prolongado ou armazenagem por períodos mais longos.

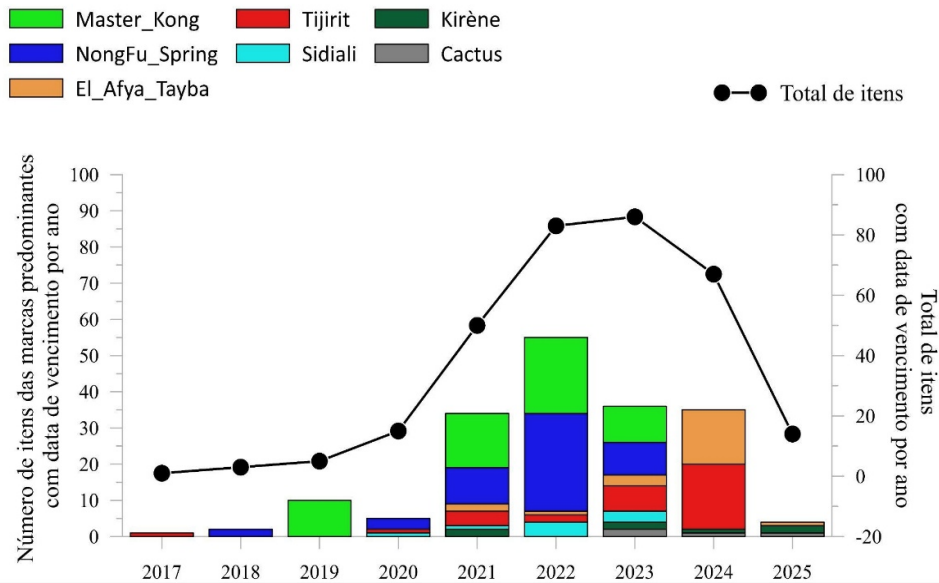


Figura 6. Data de validade das marcas de garrafas predominantes e do total de marcas por ano.

Como a data de validade da maioria das garrafas é recente, os dados sugerem que estas foram provavelmente descartadas por embarcações operando nas águas offshore adjacentes. O programa Marine Traffic (versão gratuita) mostra intenso tráfego marítimo nas águas adjacentes. A Figura 7 apresenta uma imagem que ilustra essa atividade, capturada em 22 de outubro de 2025.

Outra possibilidade é que parte dos resíduos que originados e descartados em águas costeiras de alguns da costa ocidental da África tenha sido transportada pelas correntes a partir de seus países de origem. A tabela 1 mostra os países e o tempo de chegada e de residência, considerando o descarte nos países de origem até a chegada na praia de Ajuruteua.



Figura 7. Tráfego marítimo de embarcações operando nas águas oceânicas próximas. O círculo vermelho indica a área de estudo. Fonte: MarineTraffic, imagem capturada em 22 de outubro de 2025.

Tabela 1. Tempo de chegada e residência de resíduos despejados em águas costeiras de nove países africanos. Dados obtidos pelo programa PlasticAdrift.

Countries	Arriving time (years)	Residence time (years)
Angola	1.3	3.5
Congo	0.7	3.2
Gabão	0.7	3.2
Gana	1.2	5.7
Costa do Marfim	0.7	6.2
Serra Leoa	0.7	6.2
Gâmbia	2.8	2
Senegal	2.8	2
Mauritânia	2.7	2.2

4.2 Condições Oceanográficas

As marés são semidiurnas e apresentam oscilação entre os períodos de sizígia e quadratura, sendo as maiores variações observadas entre os meses de fevereiro a março e de

agosto a outubro. Neste período as marés normalmente superam 5,5 m durante os períodos de sizígia (Figura 8). A variação das marés influencia a dinâmica da distribuição dos veranistas ao longo do estirâncio (Figura 2 D-E), bem como na quantidade de lixo que alcança a linha de costa que apresentou correlação positiva ($\rho = 0,42023$).

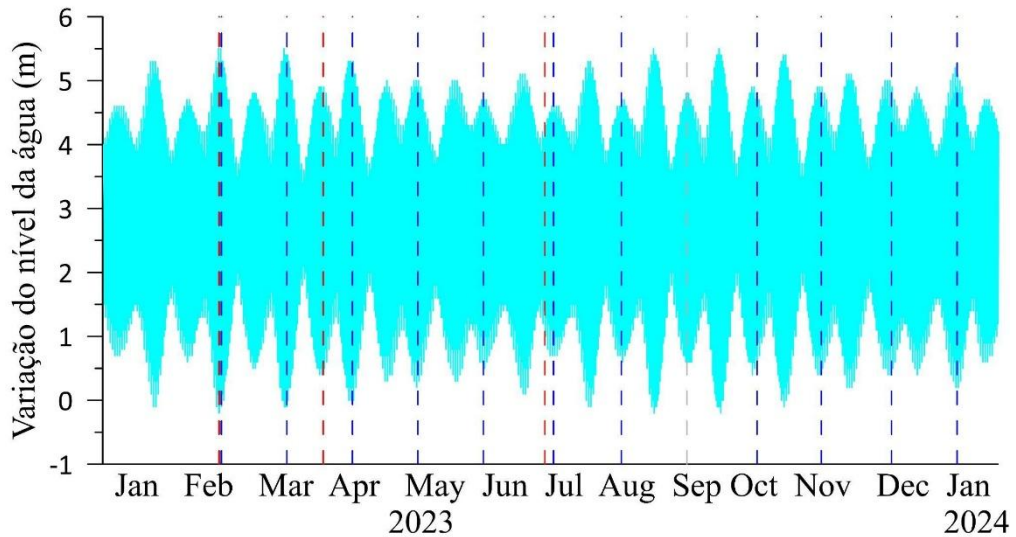


Figura 8. Variação de maré durante o período de estudo, destacando os dias de coleta de CCR em vermelho traçado e os dias de coleta de resíduos em azul escuro traçado.

Quanto à precipitação, os meses entre fevereiro e junho foram os mais chuvosos, registrando 1816,1 mm. Em fevereiro (período de carnaval), a precipitação foi de 316,7, na semana santa estes valores foram de 476,9 mm e em julho foi de 137,8 mm (Figura 9). As atividades recreacionais nos períodos de carnaval, bem como de semana santa, coincidiram com o baixo fluxo de veranistas. No segundo semestre, a Capacidade de Carga Recreacional foi medida apenas no mês de julho, que coincide com o início do verão amazônico e o período de férias escolares. No segundo semestre, os valores de precipitação pluviométrica foram

relativamente baixos (inferior a 20 mm entre setembro e novembro). Entretanto, nenhuma relação foi observada entre a precipitação e o volume de lixo alóctone encontrado.

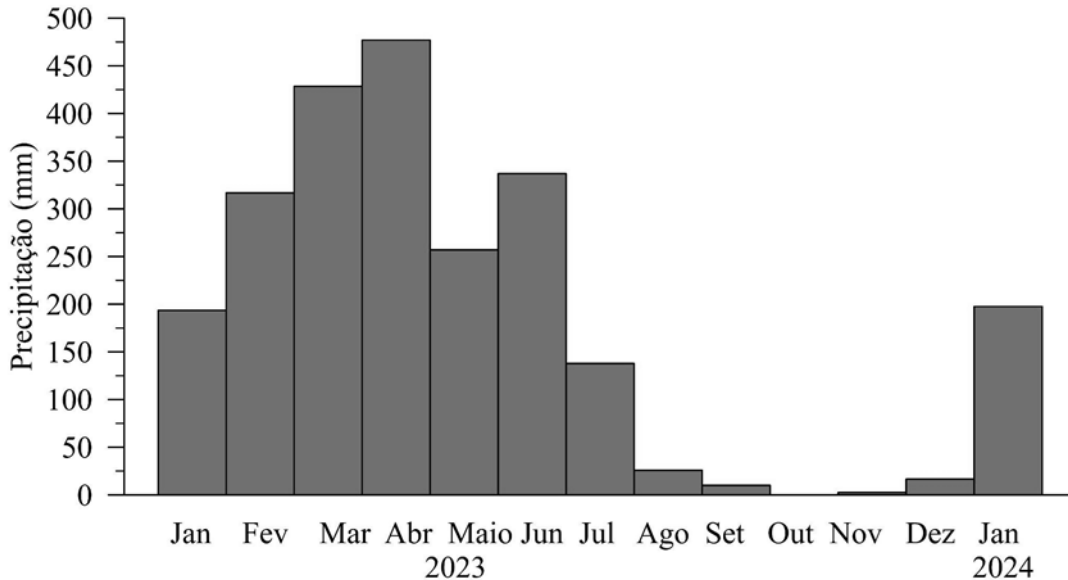


Figura 9. Valores mensais de precipitação pluviométrica.

Os ventos desempenham um papel relevante no transporte de garrafas plásticas, influenciando sua dispersão e deposição nas zonas costeiras. A direção predominante observada foi de norte (N) e nordeste (NE), conforme ilustrado na Figura 10. Durante a estação chuvosa, a velocidade máxima dos ventos atingiu $8,34 \pm 1,38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, com variações entre 3,49 e $12,56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na estação seca, essa velocidade foi ligeiramente superior, com média de $9,22 \pm 1,08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, oscilando entre 5,59 e $12,56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Os dados mensais de velocidades médias e máximas estão apresentados na Figura 10A. A Figura 10B exibe os dados sazonais de velocidade máxima, enquanto as Figuras 10C e 10D mostram as direções predominantes e as velocidades sazonais. Em ambos os períodos, os ventos sopraram majoritariamente das direções N e NE, sendo as maiores velocidades registradas no segundo semestre do ano, embora diferenças significativas não tenham sido recortadas.

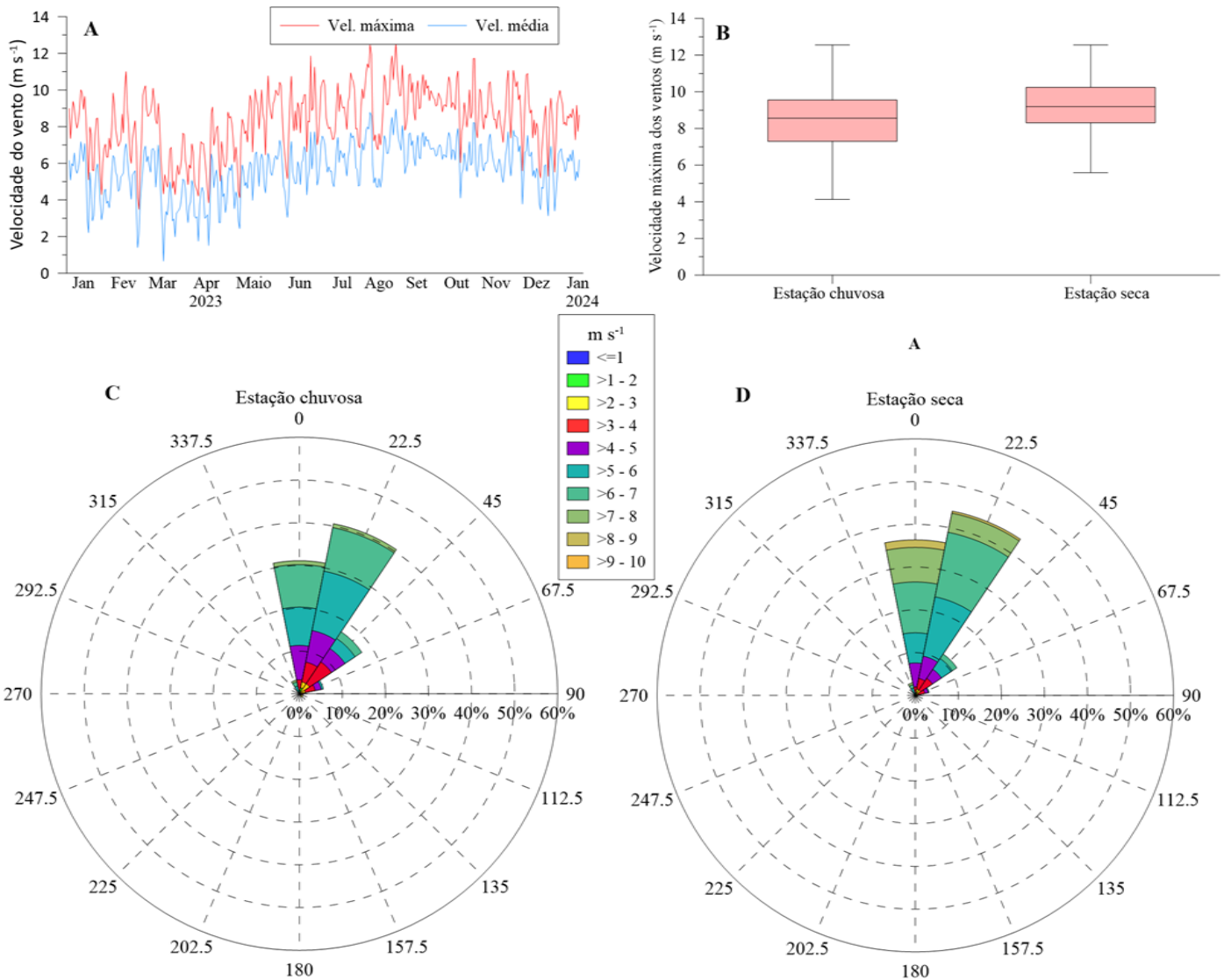
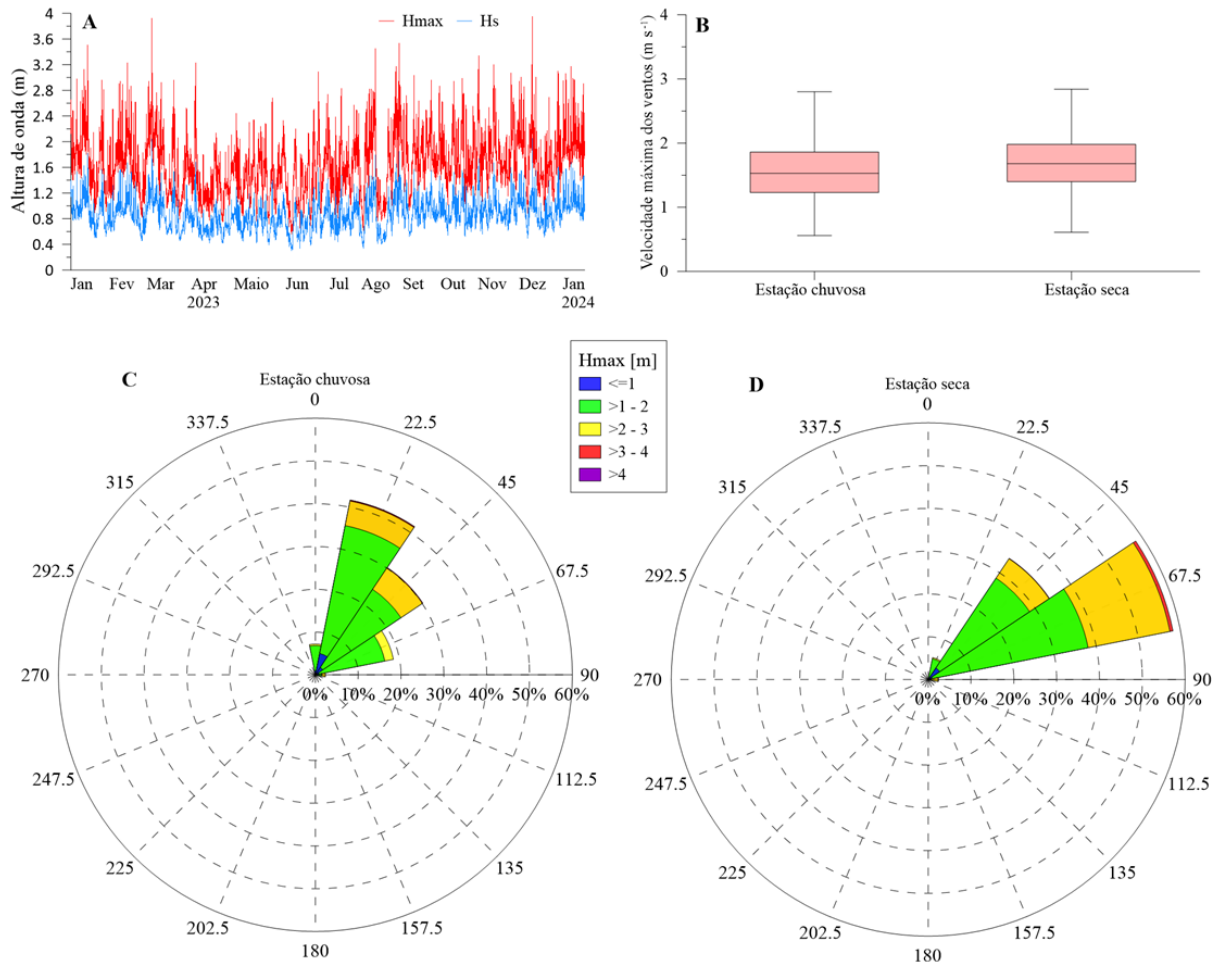


Figura 10. Valores diários da velocidade dos ventos (Vel. média e Vel. máxima) entre janeiro de 2023 e janeiro de 2024 (A), média e desvio padrão dos valores de velocidade máxima na estação seca e chuvosa (B), e direção e velocidade máxima dos ventos durante as estações chuvosa e seca (C, D).

Durante o período de alta energia hidrodinâmica, quando as ondas atingem alturas mais elevadas, o lixo assoreado nas áreas de dunas pode ser exposto. Os dados mostraram que durante a estação chuvosa, a altura máxima das ondas (H_{\max}) apresentou média de $1,57 \pm 0,36$ m, com picos de até $3,92 \pm 0,56$ m. Já na estação seca, a H_{\max} foi ligeiramente superior, com média de $1,71 \pm 0,35$ m, variando entre 0,61 e 3,95 m, embora diferenças significativas não tenham sido registradas. Os dados mensais de H_{\max} e da altura significativa das ondas (H_s)

estão apresentados na Figura 11A. A Figura 11B exibe os dados sazonais de Hmax, enquanto as Figuras 11C e 11D mostram as direções predominantes das ondas e os valores sazonais de



Hmax, destacando que, em ambos os períodos, as ondas vieram predominantemente do Nordeste (NE).

Figura 11. Valores diários da altura de ondas (Hs e Hmax) entre janeiro de 2023 e janeiro de 2024 (A), média e desvio padrão dos valores de Hmax na estação seca e chuvosa (B), e direção e altura Hmax das ondas durante as estações chuvosa e seca (C, D).

As correntes, em conjunto com os ventos, desempenham papel fundamental no transporte de resíduos transfronteiriços no ambiente marinho em âmbito global, no caso da praia de Ajuruteua, é possível observar na figura 4, o quantitativo de itens por mês e na figura 6 com o volume desses itens indicando que a fluuabilidade desses materiais, no qual facilita o transporte por fatores hidrodinâmicos, que despejam esses resíduos na costa amazônica. De forma semelhante aos dados de intensidade dos ventos e das ondas, observou-se que a

intensidade das correntes foi maior durante a estação seca, com média de $0,08 \pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, variando entre $0,01$ e $0,16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na estação chuvosa, a intensidade média foi de $0,05 \pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, com variação de $0,01$ a $0,13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Esses dados estão apresentados na Figura 12. Uma correlação negativa foi registrada entre correntes e volume dos resíduos ($\rho = -0,595$).

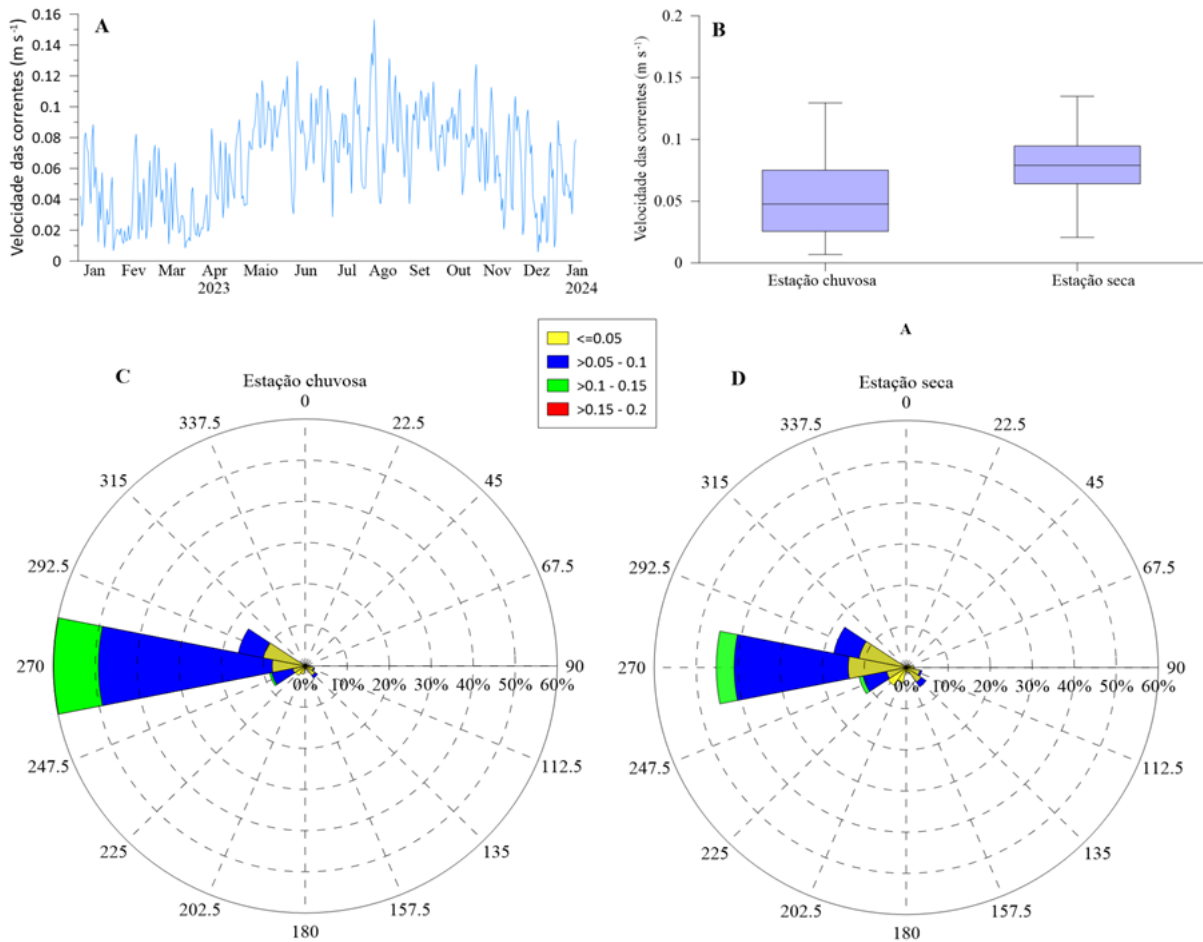


Figura 12. Valores diários da velocidade das correntes entre janeiro de 2023 e janeiro de 2024 (A), média e desvio padrão dos valores de velocidade das correntes na estação seca e chuvosa (B), e direção e velocidade máxima das correntes durante as estações chuvosa e seca (C, D).

Em síntese, os resultados evidenciam um regime hidrodinâmico sazonalmente influenciado, com padrões de ondas e ventos bem definidos e correntes fortemente moduladas por fatores interanuais. Essas variações têm implicações diretas na dinâmica sedimentar, erosão e transporte costeiro da praia de Ajuruteua, sendo essenciais para subsidiar ações de manejo e monitoramento ambiental contínuo na região.

5. DISCUSSÃO

5.1. Resíduos Alóctones: Origem e Fontes

As simulações realizadas por meio do programa PlasticAdrift indicam que as correntes oceânicas — em especial a Corrente Sul-Equatorial e a Corrente do Norte do Brasil — constituem as principais vias de transporte de detritos em direção à costa amazônica (Hardesty et al., 2016; Van Sebille; England; Froyland, 2012). Tais correntes podem ter desempenhado papel determinante no deslocamento de resíduos oriundos de países da costa oeste africana até a área de estudo (Tabela 1). Contudo, o intervalo relativamente curto entre as datas de fabricação e validade observadas (Figura 6), em comparação com o tempo estimado de trânsito desde a África Ocidental, conforme simulações do PlasticAdrift, sugere a existência de fontes alternativas, possivelmente associadas a atividades marítimas.

Diversos estudos já documentaram o descarte ilegal de resíduos sólidos vinculado ao intenso tráfego de embarcações no Atlântico Sul e nas águas africanas adjacentes (Pham et al., 2014; Piedade Junior; Silva; Castro, 2022). Diante desse contexto, é plausível inferir que embarcações — sobretudo pesqueiras — atuem como os principais vetores responsáveis pelo lançamento dos resíduos alóctones identificados na área de estudo.

No caso específico da Maurîtânia, o tempo médio de trânsito estimado para garrafas plásticas é de aproximadamente 2,7 anos (Tabela 1), o que reforça sua relevância como uma das principais fontes de resíduos detectados na região de Ajuruteua (Figuras 3, 5). A predominância de garrafas de água mineral das marcas ES-SAVI e Tijiriti é particularmente notável. Nossos estudos estão de acordo com (Assis et al., 2025), que descarta que as correntes são as principais responsáveis no transporte das garrafas desde a Maurîtânia e até a costa amazônica, por questões sociais e de vigilância sanitária. Assim, a explicação mais consistente é o descarte ilegal em alto-mar, especialmente por embarcações pesqueiras que operam nas águas da África Ocidental. Essa dinâmica evidencia a necessidade de considerar não apenas os mecanismos naturais de transporte oceânico, mas também fatores antropogênicos, como o descarte irregular por navios, para compreender a origem e a dispersão de detritos plásticos na costa amazônica.

A China também desponta como uma fonte emergente de resíduos alóctones na área estudada, principalmente representados pelas marcas Master Kong e NongFu Spring (Figuras

3, 5). Como observado para resíduos provenientes de outros países asiáticos e europeus, há fortes evidências de que esses materiais foram descartados ilegalmente por embarcações que trafegam em rotas comerciais transoceânicas (Jambeck et al., 2015). O aumento expressivo do tráfego marítimo global — impulsionado pelas atividades comerciais e pesqueiras — tem se consolidado como um dos principais vetores de introdução de garrafas plásticas nos oceanos. Nesse contexto, as rotas de navegação entre a Ásia e a América do Sul, particularmente as que envolvem embarcações chinesas, explicam o crescimento do aporte de detritos asiáticos no Atlântico Sul (Lebreton et al., 2017). A correspondência entre os padrões simulados pelo PlasticAdrift e as rotas de navegação identificadas pelo MarineTraffic reforça a coerência entre os resultados de modelagem e as evidências empíricas. Tal convergência evidencia um padrão de poluição transcontinental que transcende fronteiras nacionais e requer esforços cooperativos e coordenação internacional para ser efetivamente enfrentado.

5.2 Caracterização dos Resíduos (Idade, Composição e Conservação)

A determinação da idade dos resíduos plásticos constitui um dos maiores desafios metodológicos na caracterização de detritos marinhos. A ausência de dados legíveis compromete a reconstituição de sua trajetória e o estabelecimento de vínculos com fontes específicas. No presente estudo, apenas 326 garrafas apresentaram datas legíveis de fabricação, sendo que 250 delas possuíam validade posterior a 2022, indicando que parte considerável dos resíduos analisados é recente. A predominância de itens recentes pode estar associada à atuação de sistemas locais de limpeza urbana, que removem rapidamente resíduos domésticos, tornando mais perceptíveis os materiais de origem externa.

A predominância de garrafas PET entre os materiais coletados reflete não apenas o amplo uso desse tipo de embalagem, mas também sua notável resistência à degradação ambiental. A preservação estrutural observada nas amostras reforça que as garrafas PET, embora suscetíveis à fotodegradação, podem permanecer íntegras por longos períodos quando enterradas em sedimentos ou imersas em condições anóxicas (Andrady, 2015). Essa durabilidade está diretamente associada à composição química do polímero, que confere baixa vulnerabilidade a processos físicos e biológicos sob determinadas condições ambientais. Embora sua degradação ocorra mais rapidamente sob intensa radiação ultravioleta e variações térmicas acentuadas (Gewert; Plassmann; MacLeod, 2015), a ausência desses fatores — comum

em fundos marinhos e zonas de deposição — contribui para a persistência do material, conforme relatado por (Assis et al., 2025).

Outra característica marcante foi a ausência de sinais típicos de exposição prolongada, como incrustações biológicas ou marcas de mordidas, reforçando a hipótese de descarte ilegal por embarcações. A boa conservação estrutural das amostras sugere um tempo de residência relativamente curto no ambiente marinho, condizente com padrões observados em áreas próximas a rotas de navegação e zonas de intenso tráfego marítimo, como a da área em estudo que está compreendida entre os complexos portuários de Belém e São Luís, como indicado pela ausência de sinais de longa exposição (Fig. 7).

5.3 Limitações Naturais e Antrópicas

Fatores oceanográficos e climatológicos locais influenciam diretamente o transporte e a deposição de resíduos provenientes de áreas oceânicas adjacentes nas zonas de intermarés. Garrafas plásticas, por exemplo, podem ser mobilizadas por eventos de alta energia — como marés de sizígia e tempestades — que aumentam a probabilidade de transporte até a linha de costa. Na área de estudo, a interação entre fatores hidrodinâmicos e climatológicos favorece a concentração de detritos em determinados pontos críticos (*hotspots*) ao longo do ano (Souza et al., 2025). As marés equinociais de sizígia promovem tanto a exposição quanto o aprisionamento de resíduos em ambientes sensíveis, como dunas, restingas e manguezais. Em contrapartida, períodos de estiagem e ventos intensos podem estimular o crescimento vegetal nas dunas, favorecendo o acúmulo e a sedimentação de resíduos alóctones (Assis et al., 2025).

Limpezas constantes geram custos públicos elevados, especialmente quando os resíduos vêm de fora do território, e a dificuldade de rastrear esses resíduos, dificulta a atribuição de responsabilidade e a aplicação de políticas locais de controle, já que a fonte da poluição está fora da jurisdição nacional, em relação as questões ecológicas os resíduos, especialmente plásticos, causam mortalidade e estresse em fauna marinha (ingestão, emaranhamento, sufocamento de animais marinhos), fragmentam-se em microplásticos, que entram na cadeia alimentar e com isso, alteram as características físicas da praia e podem até modificar o microambiente de espécies costeiras (Galaiduk et al., 2020), sobretudo em áreas turísticas e ambientalmente frágeis, como o litoral amazônico.

5.4 Implicações para a Gestão

a adoção de estratégias locais de mitigação dos impactos dos resíduos marinhos, especialmente em regiões vulneráveis como a área em estudo, é fundamental para a construção de soluções sustentáveis e sensíveis ao contexto sociocultural. As ações propostas — que incluem mutirões de limpeza, reaproveitamento de materiais, educação ambiental, fortalecimento comunitário e participação em redes globais — refletem uma abordagem multifacetada e participativa, capaz de gerar benefícios de curto e longo prazo.

A realização de limpezas regulares e o monitoramento contínuo, sobretudo após marés equinociais de sizígia, por exemplo, são medidas essenciais para conter a acumulação de resíduos e evitar que estes se tornem fontes secundárias de poluição. No entanto, tais ações devem ser institucionalizadas e integradas a políticas públicas permanentes, evitando a dependência exclusiva de esforços voluntários.

O reaproveitamento de materiais como o PET pode representar uma oportunidade de geração de renda e valorização de resíduos, desde que haja infraestrutura básica, capacitação técnica e medidas de segurança no manuseio. Envolver crianças e jovens em atividades educativas é uma estratégia eficaz para promover mudanças culturais duradouras e consolidar uma consciência ambiental coletiva.

O fortalecimento de associações locais e a articulação com órgãos públicos e organizações não governamentais ampliam o acesso a recursos técnicos e financeiros, enquanto a integração a redes regionais e internacionais de combate ao lixo marinho potencializa a visibilidade das demandas locais e o intercâmbio de experiências bem-sucedidas.

Apesar da relevância das ações locais, a efetividade das estratégias de gestão depende da articulação com políticas estruturais de governança ambiental em múltiplas escalas. A complexidade da poluição marinha requer coordenação entre os setores público, privado, acadêmico e comunitário, de modo a construir respostas equitativas e duradouras. Dada a elevada sensibilidade ecológica e a importância socioeconômica da costa amazônica, é imperativo o desenvolvimento de soluções que considerem suas especificidades culturais, ecológicas e territoriais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo fornece evidências claras da acumulação de resíduos alóctones na Praia de Ajuruteua, destacando seu papel como receptora de resíduos marinhos internacionais, especialmente recipientes de PET originários da África e da Ásia. A predominância desses itens ressalta a influência do transporte transoceânico e de processos oceanográficos complexos na chegada de resíduos à costa amazônica.

A análise integrada — combinando caracterização de recipientes, modelagem de deriva de plásticos e dados estatísticos — revelou interações dinâmicas entre as fontes de resíduos e a hidrodinâmica costeira da região. Esses achados reforçam a necessidade de programas abrangentes de monitoramento, colaboração internacional e envolvimento de agências federais para mitigar a poluição marinha por plásticos, alinhando-se diretamente com as metas do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 14 (Vida na Água).

A vulnerabilidade da costa amazônica à entrada de resíduos alóctones ilustra a natureza difusa e transfronteiriça do problema, comprometendo a atratividade turística e a saúde ambiental local. Em contextos onde a infraestrutura de gestão de resíduos costeiros é limitada, é urgente fortalecer os mecanismos de fiscalização para descarte de resíduos por embarcações e integrar estratégias de gestão urbana e costeira para reduzir o fluxo de plásticos para o ambiente marinho em consonância com Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar (Brasil, 2019). Apesar de suas limitações, a caracterização temporal dos resíduos tem se mostrado uma ferramenta valiosa para compreender os padrões de poluição e orientar políticas públicas voltadas à conservação dos ecossistemas costeiros.

Embora a pesquisa sobre resíduos marinhos ao longo do litoral brasileiro tenha avançado nas últimas décadas, ainda existem lacunas significativas de conhecimento sobre a região amazônica. Desta forma, este estudo ajuda a preencher parte dessas lacunas ao abordar macro resíduos plásticos na Praia de Ajuruteua.

Pesquisas futuras devem buscar ampliar a amostragem temporal e espacial, incorporar avaliações ecológicas (por exemplo, comunidades de epibiontes) e aprimorar modelos preditivos com dados locais atualizados. Essas abordagens são cruciais para apoiar uma gestão

costeira eficaz e sustentável nesta região ecologicamente sensível e estrategicamente importante do ponto de vista socioeconômico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, Lillian Maria de Mesquita; MACEDO, Heleno dos Santos; ARAÚJO, Hélio Mário. **Os impactos socioculturais e socioambientais do turismo no ambiente costeiro : um olhar para o litoral sul Sergipano.** Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/22118>>. Acesso em: 22 out. 2025.

ALVES, Marcelo; EL-ROBRINI, Maâmar. Morphodynamics of a Macrotidal beach: Ajuruteua, Braganca north Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 949–951, 1 dez. 2006.

ANDRADY, Anthony L. Persistence of Plastic Litter in the Oceans. *In*: BERGMANN, Melanie; GUTOW, Lars; KLAGES, Michael (Orgs.). **Marine Anthropogenic Litter**. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 57–72.

ASSIS, Luciane Ferreira Da Silva *et al.* Understanding allochthonous marine litter in a Protected Area in the Amazon Coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 195, p. 115548, out. 2023.

ASSIS, Luciane Ferreira da Silva *et al.* Analyzing the origins of allochthonous marine debris in protected area: The Fishermen's village as a case study. **Waste Management**, v. 207, p. 115106, 1 out. 2025.

BALTRANAITĖ, Eglė *et al.* Tourism impacts on marine and coastal ecosystem services: A systematic review. **Geography and Sustainability**, v. 6, n. 2, p. 100277, abr. 2025.

BEAUMONT, Nicola J. *et al.* Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 142, p. 189–195, 1 maio 2019.

BENITO-KAESBACH, Alba *et al.* Understanding the sources of marine litter in remote islands: The Galapagos islands as a case study. **Environmental Pollution**, v. 347, p. 123772, 15 abr. 2024.

BERTOLUCCI, Juliana *et al.* **Poluição dos ecossistemas marinhos brasileiros: uma breve revisão sobre as principais fontes de impacto e a importância do monitoramento ambiental** **Pollution of Brazilian marine ecosystems: a brief review of the main sources of impact and the importance of environmental monitoring.** [S.l.: S.n.].

BRASIL. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/decreto-2005_56371.html>. Acesso em: 23 out. 2025.

BRASIL. Disponível em: <http://antigo.mma.gov.br/images/agenda_ambiental/lixo-no-mar/Plano-Nacional-de-Combate-ao-Lixo-no-Mar.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2025.

BUI, Thanh-Khiet L. *et al.* Understanding marine litter origin in a coastal area: Can Gio beaches, Ho Chi Minh City, Vietnam, as the case study. **Regional Studies in Marine Science**, v. 77, p. 103664, 10 dez. 2024.

CHM. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/>>. Acesso em: 23 out. 2025.

COCCOSSIS, Harry; MEXA, Alexandra. **The Challenge of Tourism Carrying Capacity Assessment: Theory and Practice.** London: Routledge, 2017.

DALL'AGNOL, Sandra. **IMPACTOS DO TURISMO X COMUNIDADE LOCAL.** 2012.

DIAS, Reinaldo. Impactos climáticos em ecossistemas costeiros: vulnerabilidade, consequências e caminhos para a sustentabilidade. **Revista Sociedade Científica**, v. 7, p. 426–454, 2024.

EUGENIO-MARTIN, Juan; MORALES, Noelia; SCARPA, Riccardo. Tourism and Economic Growth in Latin American Countries: A Panel Data Approach. **SSRN Electronic Journal**, 1 mar. 2004.

FERNANDINO, Gerson; AGOSTINI, Vanessa Ochi; ELLIFF, Carla Isobel. **Mar de Plástico: um panorama da ciência sobre o lixo no mar.** [S.l.]: INTERCIÊNCIA, 2025.

GALAIIDUK, Ronen *et al.* Transnational Plastics: An Australian Case for Global Action. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 115, 22 jul. 2020.

GALGANI, François. Marine litter, future prospects for research. **Frontiers in Marine Science**, v. 2, 26 out. 2015.

GALL, S. C.; THOMPSON, R. C. The impact of debris on marine life. **Marine Pollution Bulletin**, v. 92, n. 1, p. 170–179, 15 mar. 2015.

GEWERT, Berit; PLASSMANN, Merle M.; MACLEOD, Matthew. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 17, n. 9, p. 1513–1521, 2015.

HARDESTY, Britta *et al.* Estimating quantities and sources of marine debris at a continental scale. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, 1 dez. 2016.

ICMBio. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/pagina-inicial>>. Acesso em: 23 out. 2025.

INMET. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos>>. Acesso em: 23 out. 2025.

JAMBECK, Jenna R. *et al.* Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768–771, 13 fev. 2015.

LANZARINI, Ricardo; BARRETO, Leilianne Michelle Trindade da Silva. **Turismo Responsável – Dimensão Segurança Turística: Levantamento E Sistematização Das Políticas Programas E Projetos Desenvolvidos Em Âmbito Nacional E Estadual**. Natal, RN: Ufrn, 2023.

LAVERS, Jennifer L.; BOND, Alexander L. **Exceptional and rapid accumulation of anthropogenic debris on one of the world’s most remote and pristine islands | PNAS**. Disponível em: <<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1619818114>>. Acesso em: 22 out. 2025.

LAVERS, Jennifer L.; BOND, Alexander L.; HUTTON, Ian. Plastic ingestion by Flesh-footed Shearwaters (*Puffinus carneipes*): Implications for fledgling body condition and the accumulation of plastic-derived chemicals. **Environmental Pollution**, v. 187, p. 124–129, 1 abr. 2014.

LEBRETON, Laurent C. M. *et al.* River plastic emissions to the world’s oceans. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 15611, 7 jun. 2017.

MARIANO, Yasmim Ângelo. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS DEPARTAMENTO DE TURISMO CURSO DE TURISMO. 2025.

MENDOZA-GONZÁLEZ, Gabriela *et al.* Towards a Sustainable Sun, Sea, and Sand Tourism: The Value of Ocean View and Proximity to the Coast. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 1012, abr. 2018.

NELMS, Sarah E. *et al.* Investigating the distribution and regional occurrence of anthropogenic litter in English marine protected areas using 25 years of citizen-science beach clean data. **Environmental Pollution**, v. 263, p. 114365, 1 ago. 2020.

PEREIRA, Luci *et al.* How sustainable are recreational practices on Brazilian Amazon beaches? **Journal of Outdoor Recreation and Tourism**, v. 45, p. 100741, 1 mar. 2024.

PEREIRA, Luci Cajueiro Carneiro. **Tourism carrying capacity on estuarine beaches in the Brazilian Amazon region | Request PDF**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/263125969_Tourism_carrying_capacity_on_estuarine_beaches_in_the_Brazilian_Amazon_region>. Acesso em: 22 out. 2025.

PEREIRA, Remo Luan Marinho Costa; MÖSSO, Cesar; PEREIRA, Luci Cajueiro Carneiro. **Assessment of Vulnerability to Erosion in Amazonian Beaches**. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2673-7086/5/3/29>>. Acesso em: 22 out. 2025.

PERUMAL, Rubeshan *et al.* Baseline and treatment-emergent bedaquiline resistance in drug-resistant tuberculosis: a systematic review and meta-analysis. **European Respiratory Journal**, v. 62, n. 6, 14 dez. 2023.

PESSOA, R. M. C. *et al.* Recreational carrying capacity of an Amazon macrotidal beach during vacation periods. **Journal of Coastal Research**, v. 65, n. sp1, p. 1027–1032, abr. 2013.

PESSOA, Rubem Manoel Coelho. **Federal conservation units in the Brazilian amazon coastal zone: An adequate approach to control recreational activities? | Request PDF**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/334841767_Federal_conservation_units_in_the_Bra

zilian_amazon_coastal_zone_An_adequate_approach_to_control_recreational_activities>.

Acesso em: 22 out. 2025.

PHAM, Christopher K. *et al.* Marine Litter Distribution and Density in European Seas, from the Shelves to Deep Basins. **PLOS ONE**, v. 9, n. 4, p. e95839, 30 abr. 2014.

PIEIDADE JUNIOR, Raimundo Nonato; SILVA, Aryele Carvalho Da; CASTRO, Maria De Jesus Passos De. Lixo marinho internacional na praia de Itatinga, Alcântara, Maranhão, Brasil: International marine waste at Itatinga beach, Alcântara-MA. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 12, p. 78418–78427, 9 dez. 2022.

RUSCHMANN, Doris van de Meene. Turismo e planejamento sustentável: a proteção do meio ambiente. 1999.

RYAN, Peter G. *et al.* Rapid increase in Asian bottles in the South Atlantic Ocean indicates major debris inputs from ships. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 42, p. 20892–20897, 15 out. 2019.

RYAN, Peter G. Land or sea? What bottles tell us about the origins of beach litter in Kenya. **Waste Management**, v. 116, p. 49–57, 1 out. 2020.

RYAN, Peter G. *et al.* Message in a bottle: Assessing the sources and origins of beach litter to tackle marine pollution. **Environmental Pollution**, v. 288, p. 117729, 1 nov. 2021.

RYAN, Peter G. Illegal dumping from ships is responsible for most drink bottle litter even far from shipping lanes. **Marine Pollution Bulletin**, v. 197, p. 115751, 1 dez. 2023.

SEBILLE, Erik; ENGLAND, Matthew; FROYLAND, Gary. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. **Environmental Research Letters**, v. 7, p. 044040, 1 dez. 2012.

SOTO-NAVARRO, C. A. *et al.* **Towards a multidimensional biodiversity index for national application | Nature Sustainability**. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41893-021-00753-z>>. Acesso em: 22 out. 2025.

SOUSA, Rosigleyse Corrêa de. **Capacidade de carga recreacional, percepção dos usuários e qualidade da água em três praias turísticas da Costa amazônica.**

SOUZA, Ingrid Padilha de *et al.* Marine litter pollution on Amazonian beaches: A risk assessment study with focus on non-urban beaches. **Marine Pollution Bulletin**, v. 222, n. Pt 2, p. 118747, 27 set. 2025.

SOUZA, Wellyngton Fernando Leonel De; NEVES, Christopher Smith Bignardi. DESTINOS TURÍSTICOS COSTEIROS E A PRODUÇÃO CIENTÍFICA PRECEDENTE AO ANO 2000. **REVISTA BRASILEIRA DOS OBSERVATÓRIOS DE TURISMO - ReBOT**, v. 3, n. 2, p. 95–115, 19 dez. 2024.

SOUZA FILHO, P. W. M.; MARTINS, E. S. F.; COSTA, F. R. Using mangroves as a geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: a remote-sensing data approach. **Ocean & Coastal Management**, v. 49, n. 7-8, p. 462-475, 2006. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2006.04.005.

SOUZA-FILHO, Pedro Walfir Martins *et al.* **SISTEMA DE OBSERVAÇÃO COSTEIRA E O PAPEL DOS SENSORES REMOTOS NO MONITORAMENTO DA COSTA NORTE BRASILEIRA, AMAZÔNIA.** Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/381158131/135-345-1-PB>>. Acesso em: 23 out. 2025.

THIEL, M. *et al.* Anthropogenic marine debris in the coastal environment: A multi-year comparison between coastal waters and local shores. **Marine Pollution Bulletin**, v. 71, n. 1, p. 307–316, 15 jun. 2013.

UCKARDES, F.; KORKMAZ, M.; OCAL, P. COMPARISON OF MODELS AND ESTIMATION OF MISSING PARAMETERS OF SOME MATHEMATICAL MODELS RELATED TO IN SITU DRY MATTER DEGRADATION. **J. Anim. Plant Sci.**, 2013.

VAN SEBILLE, Erik; ENGLAND, Matthew H.; FROYLAND, Gary. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 4, p. 044040, 1 dez. 2012.

YEPES, Víctor Piquera. LAS PLAYAS EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL LITORAL. **Cuadernos de Turismo**, n. 4, p. 89–110, 1999.

ZACARIAS, Daniel. Avaliação da capacidade de carga turística para gestão de praias em Moçambique: o caso da Praia do Tofo. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 13, p. 205–214205, 1 jun. 2013.