

PADRÕES DE DEPOSIÇÃO E RELAÇÃO ENTRE LIXO MARINHO E ARRIBADAS EM PRAIAS ARENOSAS NA ILHA DE ITAMARACÁ (PE)

Thaiane Santos da Silva¹, Monica Ferreira da Costa¹

RESUMO: O aumento da deposição de arrubadas e lixo antropogênico impacta e diminui a qualidade de praias arenosas. A Ilha de Itamaracá é uma ilha continental onde essas deposições ocorrem. O objetivo deste estudo foi avaliar a interação entre o lixo e as arrubadas nas praias da ilha. Para isso, três praias (Forte, Pilar e Sossego) foram estudadas para a deposição de algas arrubadas através da biomassa vegetal e macrolixo em março, junho, setembro e dezembro de 2022. Dois mil e treze itens de lixo foram coletados, com maioria de plásticos (72%) e vidro e cerâmica (19%). Embalagens de uso único foram o plástico mais abundante. Mais de 70% (n = 969) dos itens ocorreram no Sossego. A maioria do lixo ocorreu em setembro (n = 952) e dezembro (n = 364). Cerca de 362 itens foram classificados como resto de construção, ocorrendo no Forte nos primeiros meses. Fatores de composição (grau de cobertura e tipo de detrito), direção do vento e precipitação foram responsáveis pela distribuição do lixo. Sossego foi dominada por macroalgas, com mais da metade de toda a biomassa vegetal coletada (64,4%, 252,5 ± 41,4 kg/100m²) com diferença significativa na comparação com Forte. Fatores de composição, direção do vento e precipitação determinaram o peso da biomassa vegetal. Lixo e biomassa tiveram correlação positiva fraca ($\rho=0,32$ e $p \leq 0,05$). Picos de deposição de arrubadas não coincidiram com os meses de mais lixo. O tipo de arrubação mostrou associação com a velocidade do vento. A maioria dos plásticos tiveram baixo grau de emaranhamento e fragmentos emaranhamento muito alto. Emaranhados (n=53) foram identificados nas praias, em áreas não cobertas e fortemente cobertas. Os resultados indicam que a sazonalidade climática controla a dinâmica de deposições e lixo e arrubadas, quando juntos, resultam na formação de emaranhados, um preocupante componente da poluição das praias.

Palavras-chave: monitoramento, macrolixo, macroalgas.

ABSTRACT: The increase in the deposition of beach wrack and anthropogenic litter impacts and decreases quality of sandy beaches. Itamaracá Island is a continental island where these depositions occur. This study aimed to address the interaction between litter and beach wrack on the island's beaches. Three beaches (Forte, Pilar, and Sossego) were assessed for beach wrack with vegetable biomass and macrolitter deposition in March, June, September, and December 2022. A total of 2,013 litter items were collected, resulting in predominantly plastics (72%) and glass/ceramics (19%). Single-use packaging was the most abundant type of plastic. Over 70% (n = 969) of the litter was found at Sossego, with the highest amounts recorded in September (n = 952) and December (n = 364). Approximately 362 items were identified as material construction, primarily at Forte during the early months of the year. Key factors influencing litter distribution included composition factors (coverage degree and debris type), wind direction, and precipitation. Sossego exhibited the highest biomass weight, being more than half of the total collected (64.4%, 252.5 ± 41.4 kg/100 m²), significantly differing from Forte. Composition factors, wind direction, and precipitation also influenced vegetable biomass weight. A weak positive correlation was observed between litter and biomass ($\rho = 0.32$, $p \leq 0.05$). Peaks of stranded biomass deposition did not coincide with months of peak litter accumulation. Additionally, type of debris was associated with wind speed. Entanglements (n = 53) were identified on the beaches, occurring in both uncovered and heavily covered areas, with plastics showing a low degree of entanglement, while fragments exhibited high entanglement potential. These findings suggest that climatic seasonality control the dynamics of the natural and anthropogenic debris deposition and, together, result in the formation of entanglements, a concerning element of beach pollution.

Keywords: monitoring, macrolitter, macroalgae.

@ Corresponding author: thaiane.silva@ufpe.br

¹ Universidade Federal de Pernambuco

1. INTRODUÇÃO

A presença de arribadas em praias tem sido intensificada pelas mudanças climáticas e pela poluição marinha, resultantes de atividades antropogênicas. O enriquecimento das águas com nutrientes e matéria orgânica assim como o aumento da temperatura dos oceanos favorecem o crescimento de macroalgas e fanerógamas marinhas que acabam depositadas nas praias (Martins *et al.*, 2024). Essa deposição de macroalgas, em praias, após serem arrancadas de seus substratos é chamada de arribação, ocorrendo durante a maré baixa (Cavalcanti, 2021). Além de macroalgas, essa arribação pode ser composta por fanerógamas marinhas, vegetação de mangue e vegetação continental como plantas de restinga.

A presença e deposição desses detritos dependem de fatores como hidrodinâmica, características de fluabilidade do material (Chubarenko *et al.*, 2021), intensidade e direção das ondas, ventos e correntes. Esses fatores desempenham um papel importante no processo de desprendimento, transporte e acumulação desses detritos nas praias. Além disso, o tipo de uso desse ecossistema também determina o processo e o tipo de material depositado. A produção primária de praias é subsidiada pela deposição de detritos naturais (Ruiz-Delgado *et al.*, 2015).

A hidrodinâmica e as condições meteo-oceanográficas desempenham um papel importante no processo de acumulação de vegetação marinha (Chubarenko *et al.*, 2021). Esses detritos naturais, compostos de macroalgas, fanerógamas ou outros materiais orgânicos são levados para a costa pelo vento, ondas, ação natural das marés ou outros eventos oceanográficos (Santos *et al.*, 2013; Chubarenko *et al.*, 2021). Além do material orgânico, considerado natural nas praias, o lixo antropogênico também tem sido um componente dessa arribação tornando-se um problema crescente (Chubarenko *et al.*, 2021).

O plástico encontrado preso em arribação é degradado e fragmentado, alterando as propriedades do ambiente (Ryan, 2015) e gerando produtos nocivos (por exemplo, microplásticos e produtos químicos) para a fauna que usa e habita essa zona intermareal. Devido às grandes quantidades acumuladas esse material arribado impacta na qualidade da praia e é descartado da mesma forma que detritos antropogênicos (Cavalcanti *et al.*, 2012; Martins *et al.*, 2024). Todo esse material é visto como “lixo” na praia pelo mau odor devido à sua decomposição. Essa problemática tem sido relatada ao longo do Oceano Atlântico Central, nas praias do Caribe (Gower & King, 2011; Wang &

Hu, 2016) e na costa brasileira (Sissini *et al.*, 2017). Tanto os detritos naturais quanto o lixo, arribados juntos, diminuem o valor ecossistêmico de praias em termos de fornecimento, regulação, manutenção e serviços que praias oferecem (Robbe *et al.*, 2021). Além disso, o lixo marinho emaranhado nas arribações naturais intensifica ainda mais o problema de gestão e limpeza das praias dificultando a coleta e uso de ambos.

Nesse contexto, ressalta-se aqui que a maioria dos estudos sobre arribação estão focados na biologia e ecologia das florações e mesmo para o litoral brasileiro, poucos estudos relatam esses eventos de deposição (Széchy *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2013; Sissini *et al.*, 2017). Para o litoral de Pernambuco, Nordeste do Brasil, os estudos sobre arribadas estão ligados à ecologia de macroalgas e ao uso da biomassa vegetal como biossorvente e bioindicador da qualidade ambiental (Veimrober Júnior, 2010; Silva, 2010; Barros, 2013).

O objetivo deste estudo foi avaliar a interação entre lixo marinho e arribadas, cuja presença é condicionada por variáveis meteo-oceanográficas nas praias da Ilha de Itamaracá, ambos componentes importantes no fluxo de lixo marinho em ecossistemas costeiros. Supõe-se que o lixo e arribadas são subestimados nos registros de poluição marinha na Ilha, desse modo pouco se sabe sobre as deposições de arribadas e de lixo nas praias de Itamaracá.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A Ilha de Itamaracá está situada no estado de Pernambuco (Figura 1) na costa nordeste do Brasil, a cerca de 50 km ao norte da capital Recife. Itamaracá tem uma área total de aproximadamente 67 km² e abriga uma população de 24.540 pessoas (IBGE, 2022). O crescimento urbano e populacional desordenados entre os anos de 1970 e 2010 marcam a ocupação na Ilha. Além disso, Itamaracá também é caracterizada por uma população flutuante significativa por ter residências destinadas aos períodos de veraneio (Lima *et al.*, 2017).

A Ilha faz parte de um importante complexo estuarino separado do continente pelo Canal de Santa Cruz e composto por praias, manguezais e rios que deságuam no oceano e que sofrem grande impacto antrópico (Melo *et al.*, 2019; Ramos & Costa, 2023). Possui clima tropical com temperatura máxima de 34°C e mínima de 20°C, e dois períodos sazonais distintos: uma estação seca (setembro a fevereiro) e uma estação chuvosa

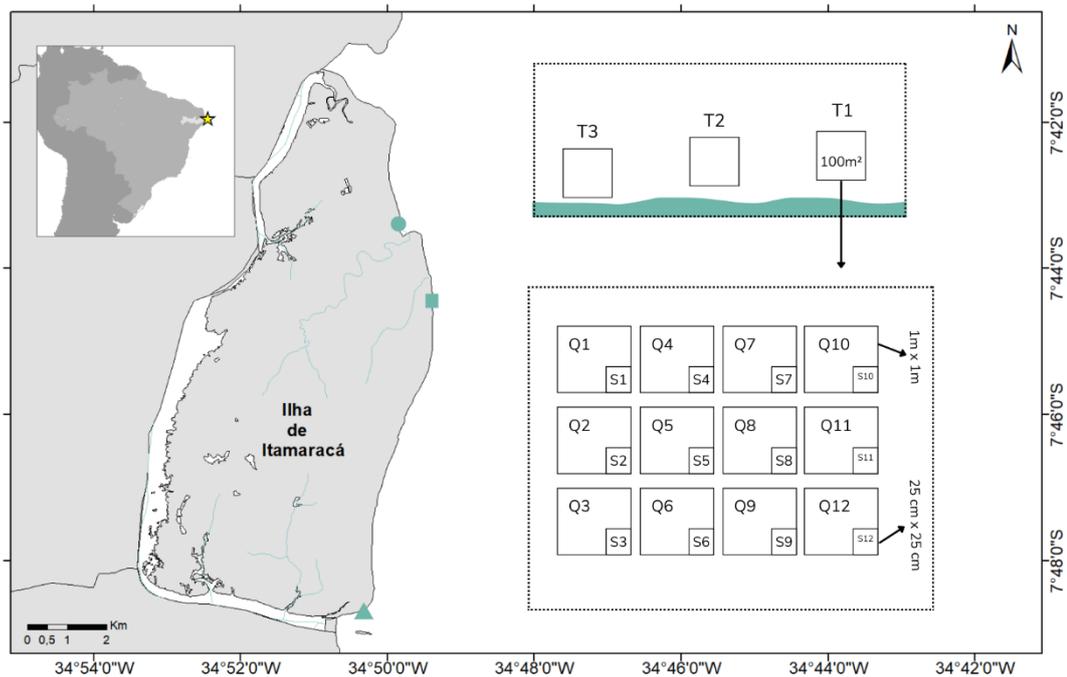


Figura 1. Localização da Ilha de Itamaracá em Pernambuco, Nordeste do Brasil e praias pesquisadas representadas por ▲ Forte, ■ Pilar, ● Sossego, para amostras itens de lixo e biomassa vegetal em 2022. O mapa mostra a estratégia de amostragem aplicada em 3 transectos para cada praia, repetida em cada mês de coleta. Q: quadrante para amostras de lixo; S: subquadrante para biomassa vegetal.

(março a agosto) (Macêdo *et al.*, 2004; Pitanga *et al.*, 2012; Araújo *et al.*, 2021). Uma precipitação média de 2060 mm/ano caracteriza Itamaracá, com maiores médias de precipitação nos meses de maio, junho e julho (APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2023).

Os ventos predominantes são de SE com velocidade média de 3,2 m/s. Ventos fracos (média de 2,6 a 5,2 m/s) de NE ocorrem na estação seca com pico de 9,2 m/s e na estação chuvosa ventos fortes sopram de SE (média de 4,0 a 5,7 m/s) com pico de 9,2 m/s (Medeiros & Kjerfve, 1993; Araújo *et al.*, 2021). As marés desempenham um papel importante nas mudanças morfológicas e sedimentológicas da costa em Itamaracá (Almeida, 2011). As marés são do tipo mesomaré, dominadas por ondas (2-4m), e semidiurnas com um ciclo de duas marés altas e duas baixas no dia (Almeida, 2011; Melo *et al.*, 2019; Araújo *et al.*, 2021).

De acordo com Almeida (2011), ondas de direção E-SE, associadas a ventos de mesma direção, apresentam altura média de 1 a 1,5 m e períodos de 5 a 7s em áreas profundas. Na estação seca, ocorrem ondas menores, períodos mais longos e ventos mais fracos. Ainda na estação seca, a perda de sedimentos corresponde a eventos de aumento da potência

das ondas (Araújo *et al.*, 2021). Na estação chuvosa, foram observados períodos de ondas mais curtos.

A praia do Forte, na Figura 1, está ao sul do Canal de Santa Cruz, onde também se localiza o Forte Orange (Fortaleza de Santa Cruz), construção histórica de 1631, tombada pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) em 1938 pela sua importância histórica e cultural (IPHAN, 2010). É uma área predominantemente turística, com bares à beira-mar (Leitão *et al.*, 2007). Essa praia, no entorno do Forte Orange, contém ainda vias de acesso, calçadas, estacionamentos, barracas, marinas, hotéis, pousadas e residências fixas e temporárias, além de abrigar uma parcela de manguezal (Araújo, 2022).

Residências fixas, ocupação imobiliária precária e bares caracterizam a praia do Pilar (Figura 1). Essa praia se encontra em área urbana, com presença de atividade comercial, turística e pesqueira. O uso da praia em feriados e finais de semana é intenso, assim como a presença de embarcações de pequeno porte, ancoradas na praia próximas a instalações de apoio à atividade pesqueira. Apesar dessas pressões antrópicas, ainda há pequenas regiões com vegetação de restinga nessa área.

A praia do Sossego se localiza próxima à foz do rio Jaguaribe, um importante curso d'água da Ilha que desemboca no oceano. Na margem direita do rio, há um setor urbano composto por residências fixas e temporárias, atividade pesqueira, aquicultura e lazer, com bares e comércios (Leitão *et al.*, 2007). Na margem esquerda, em direção à praia do Sossego, há presença de poucos bares, que têm sofrido com a intensa erosão costeira nessa área. Sossego se caracteriza principalmente por residências temporárias ocupadas em períodos de férias e veraneio. A ausência de coleta seletiva, saneamento básico e intensa erosão nessa área também são características que definem o local.

2.2 Coleta de amostras

As praias foram amostradas a cada 4 meses (Março, Junho, Setembro e Dezembro), durante o ano de 2022. Três transectos de 10m x 10m (100m²) desde a linha do deixa (linha de preamar) até a linha d'água foram definidos, priorizando áreas de ocorrência de arribadas quando possível (Figura 1). Em cada transecto, durante a maré baixa, dentro de 12 quadrantes (1x1m), todo o macrolixo (>2,5 cm) foi coletado manualmente e armazenado em sacos plásticos de 100L para transporte até o laboratório. Os quadrantes foram posicionados de modo que cobrissem toda a extensão do transecto. Todo o material de lixo coletado foi expresso nos resultados como itens/100m².

Os doze quadrantes de 1x1m continham 1 sub-quadrante (25x25cm) cada, onde foi coletado todo o material natural vegetal presente. Esse material foi armazenado em sacos de 2L para análise de biomassa vegetal. Em laboratório o material foi seco em estufa por 3 dias a 60°C e pesado. Os resultados foram expressos em kg/100m² (peso de biomassa vegetal seca). A partir das amostras dos sub-quadrantes o peso de biomassa vegetal seca foi estimada para os quadrantes de 1m² e para os transectos. As coletas resultaram em 432 amostras distribuídas em: 3 praias x 4 meses x 3 transectos/praias x 12 quadrantes/transectos x 12 sub-quadrantes (Figura 1).

2.3 Dados meteo-oceanográficos

Os dados meteo-oceanográficos para cada praia foram obtidos online (www.windguru.cz/, www.surfguru.com.br/ e earth.nullschool.net/pt/). Intensidade de vento (m/s), direção do vento, altura (m), período (s) e direção da onda foram coletados para 12h anteriores até o momento da coleta de amostras afim de verificar os fatores que influenciam a ocorrência diária e local da arribação na Ilha. Os dados de precipitação mensal foram disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e

Clima (APAC), resultando nos dados de janeiro a dezembro de 2022, que foram comparados com a média histórica da Ilha.

2.4 Classificação de amostras

O macrolixo foi classificado para tipo de material (plástico, tecido, vidro e cerâmica, espuma, papel, madeira, borracha e outros) e diversidade de acordo as Diretrizes para Pesquisa e Monitoramento de Lixo Marinho (UNEP, 2009). Dois totais de lixo foram analisados, um total com itens de vidro e cerâmica (2.013 objetos de lixo) e um total sem esses itens (1.651 objetos de lixo) para verificar se esses itens mostravam influência estatística nos resultados.

O tipo arribação foi categorizado a partir do material que continha o detrito: vazio, macroalga e manguezal. Para grau de cobertura de arribação foram criadas classes de 0 a 5 baseadas no "Guia de fotos de arribação de praia (GFAP)" de Haseler *et al.* (2019): categoria 0 (<1%, não coberto), categoria 1 (1-5%, raramente coberto), categoria 2 (6 - 25%, levemente coberto), categoria 3 (26 - 50%, moderadamente coberto), categoria 4 (51 - 75 %, fortemente coberto) e categoria 5 (76 - 100%, intensamente coberto).

O potencial de emaranhamento do lixo nos detritos arribados na praia foi avaliado a partir da classificação da forma dos itens (Navarrete-Fernández *et al.*, 2022) em cinco categorias associadas aos graus de emaranhamento: a) LI - itens de linha (emaranhamento muito alto); b) LM - itens laminares (alto emaranhamento); c) MS - itens mistos (emaranhamento médio); d) O - itens ocos (baixo emaranhamento); e, e) S - itens sólidos (emaranhamento muito baixo).

2.5 Análise estatística

O lixo foi expresso por itens/100m² para estação climática (seco e chuvoso), mês (março, junho, setembro e dezembro) e praia (Forte, Pilar e Sossego). A média desse lixo foi apresentada por média ± erro padrão. Os itens foram analisados com e sem presença de detritos de resto de construção. As amostras foram testadas para normalidade e homocedasticidade. Análise multivariada permutacional de variância (PERMANOVA) foi aplicada com padronização dos dados e conduzida com uma matriz de distância euclidiana, para testar o efeito dos 3 fatores (estação climática, mês e praia) e suas interações através de 999 permutações. Quando a PERMANOVA apresentou diferenças significantes ($p \geq 0,05$), teste a posteriori (*pair-wise test*) com ajuste de Bonferroni foi aplicado.

Para comparação de distribuição das amostras de lixo junto aos fatores de composição de biomassa vegetal (tipo de detrito),

peso seco em kg/m² e variáveis meteo-oceanográficas (direção e intensidade vento, altura significativa, direção e período da onda, precipitação) foi utilizada Análise de Correspondência Canônica (CCA).

Para as arribadas, o peso seco de biomassa vegetal estimada foi apresentado em kg/100m² e média ± erro padrão. PERMANOVA também foi performada para as amostras de biomassa vegetal e feito dos fatores. Frequência de ocorrência dos diferentes graus de cobertura foi apresentada em porcentagem. A resposta de distribuição das amostras de peso também foi obtida por CCA.

Para explorar a interação entre lixo e biomassa vegetal os dados foram testados ainda com PERMANOVA. Os padrões espaciais foram visualizados por Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS). Correlação de Spearman foi utilizada para verificar as relações das variáveis com lixo, biomassa vegetal e tipo de cobertura de detrito. Todas as análises estatísticas foram feitas no software R Studio Versão 4.2.0 (R Core Team, 2022).

3. RESULTADOS

3.1 Variáveis meteo-oceanográficas

Precipitação

Os registros de chuvas para a Ilha de Itamaracá no ano de 2022 estão resumidas na figura 2. Nos meses de maio, junho e julho ocorreram os maiores acúmulos e os menores registros foram de setembro a fevereiro. Em junho, no segundo mês de coleta, ocorreu a maior precipitação (398,5 mm) enquanto dezembro foi um mês seco (44,8 mm). Dois períodos climáticos, já conhecidos para o litoral, puderam ser observados entre os meses de coleta: março e junho como período chuvoso e setembro e outubro sendo período seco. Os dados coletados foram comparados com a média histórica de precipitação para a Ilha (Figura 2) através dos registros da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima).

Vento

Em 2022, nas 3 praias a intensidade do vento variou de 1,8m/s a 6m/s, com direção predominante de SE (Figura 3). Ventos mais intensos foram registrados na praia do Pilar e Sossego com velocidades máximas de 6m/s e 5,7m/s respectivamente. Médias semelhantes foram registradas nas 3 praias, entre 3,5m/s e 3,7m/s. As velocidades máximas e mínimas que ocorreram nas praias foram de 1m/s a 5,4m/s no Forte,

1,8m/s a 6m/s no Pilar e 2,1m/s a 5,7m/s no Sossego, com menor variação de intensidade do vento.

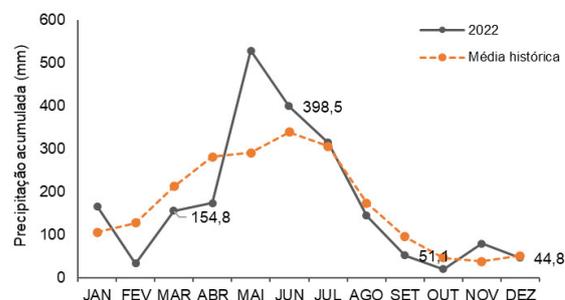


Figura 2. Precipitação mensal acumulada durante o ano de coleta (2022) comparada com a média histórica da Ilha de Itamaracá.

Ao longo dos meses, a direção foi predominante nas praias de estudo foi de SE (março, junho e setembro) e E (dezembro) (Figura 4). A intensidade do vento apresentou variabilidade entre os meses. Em março e junho a velocidade predominante de vento foi de 3m/s a 5m/s (72,2 % e 63,9% respectivamente). Ventos mais fracos de 1m/s a 3m/s também ocorreram nesses meses (Figura 4). Um aumento da intensidade ocorreu nos meses seguintes: setembro (3m/s a 5m/s; 88% - Figura 4c) e dezembro (3m/s a 5m/s; 80,6% - Figura 4d). Nesse período ainda foram registrados ventos com velocidade ≥ 5 m/s.

Onda

As ondas tiveram uma altura significativa máxima (Hmáx.) de 1,6m e mínimo (Hmín.) de 0,94m no Forte e no Pilar respectivamente, representados na figura 5a. Junho foi o mês com maiores índices de chuva e incidência de ondas com baixos valores de altura significativa (de 0,94m a 1,2m). A maior média de altura foi em dezembro (1,39m), correspondendo a estação menos chuvosa. Além disso, setembro (Hmáx. 1,52m; Hmín. 1,2m) e dezembro (Hmáx. 1,58m; Hmín. 1,3m) registraram ondas com menor variação entre as alturas significativas máximas e mínimas.

Quanto às praias, Forte e Sossego tiveram ondas com as maiores alturas (1,6m e 1,58m, respectivamente), enquanto Pilar registrou ondas de 0,94m a 1,44m. Durante os meses de estudo ocorreu uma variação no período das ondas de 6,7s a 13s (Figura 5b). Os valores extremos, tanto máximos quanto mínimos, ocorreram em março e setembro (Figura 5b). Março teve maior período de onda (13s) assim como o maior valor de altura significativa da onda (1,6m). Enquanto junho registrou menor período (6,7s) e altura significativa de onda de 0,94m dentro de uma variação de 0,95m a 1,2m.

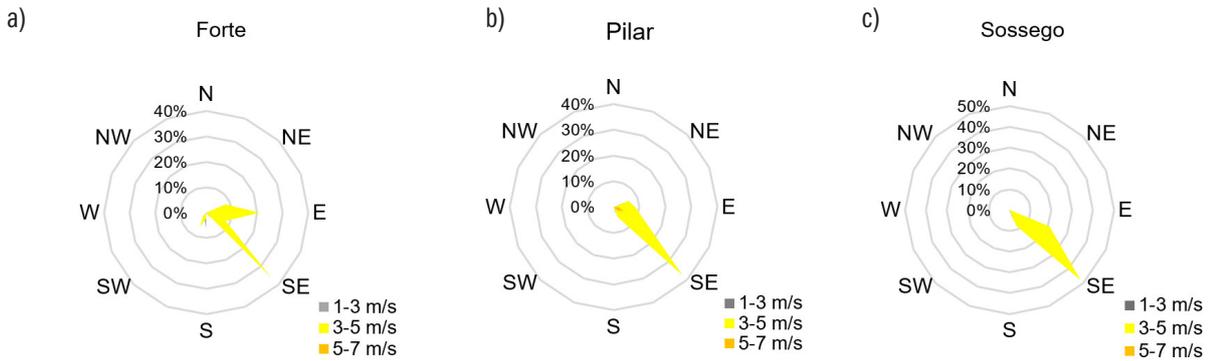


Figura 3. Gráfico de intensidade e direção do vento para as 3 praias da Ilha de Itamaracá no ano de 2022.

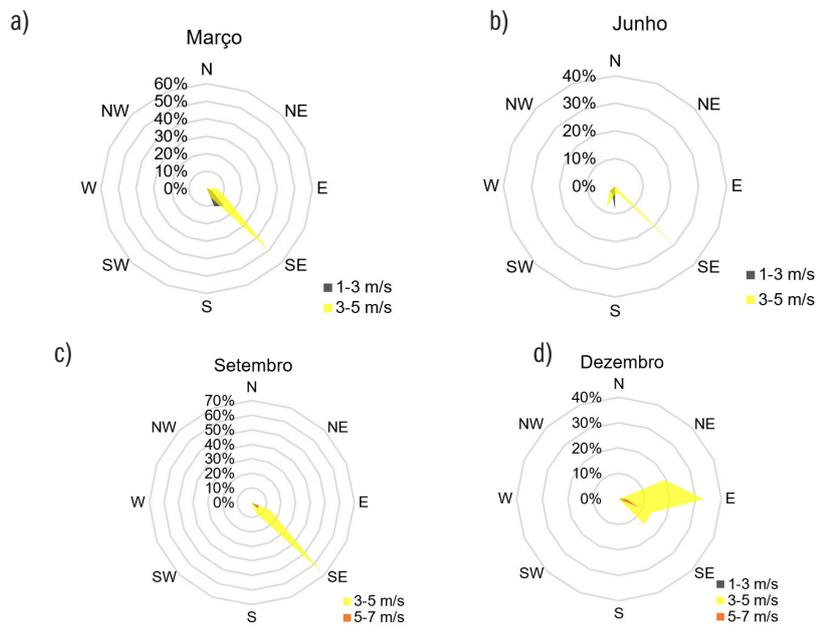


Figura 4. Intensidade e direção do vento em relação aos meses de coleta na Ilha de Itamaracá em 2022.

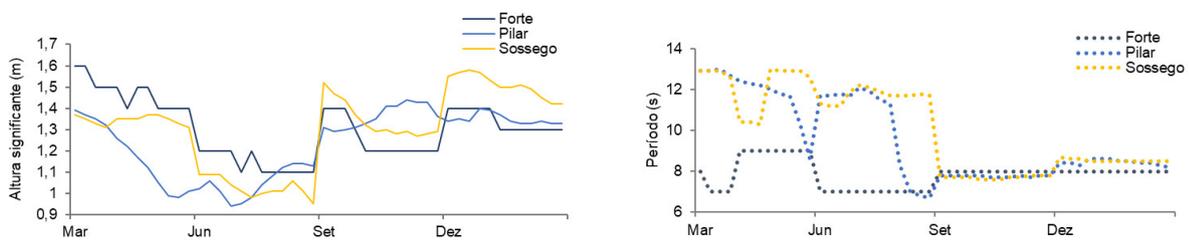


Figura 5. Altura significativa (m) e período de pico (s) da onda nas praias durante os meses de coleta.

Ondas com maiores períodos ($\geq 11s$) ocorreram predominantemente em março. Além do período de 6,7s junho também teve período $\geq 11s$. Para esses dois meses direção predominante das ondas foi de leste (E) em março e de sudeste (SE) em junho (Figura 6). Nos meses menos chuvosos, que registraram ondas com $H_{mín.} \geq 1m$, setembro e dezembro tiveram ondas de leste-sudeste (ESE).

Os três locais de amostragem, Forte, Pilar e Sossego, tiveram ondas representadas em sua maioria com sentido de ESE (Figura 7) e picos de períodos entre 7s e $\geq 11s$

Na praia do Forte, ondas de SE (25%) e E (8,3%) ocorreram além da direção predominante de ESE (58,3%). Ondas com essas direções (SE 25%, E 23%, ESE 50%) também foram registradas no Pilar. O período dessas ondas foi distribuído entre 7 a 9s (56%) e picos de períodos $\geq 11s$ (37,5%). Assim como no Pilar, a praia do Sossego teve ondas com picos de períodos na mesma escala (7s a 9s 50% e $\geq 11s$ 43,7%) e direção predominante de ESE (52%).

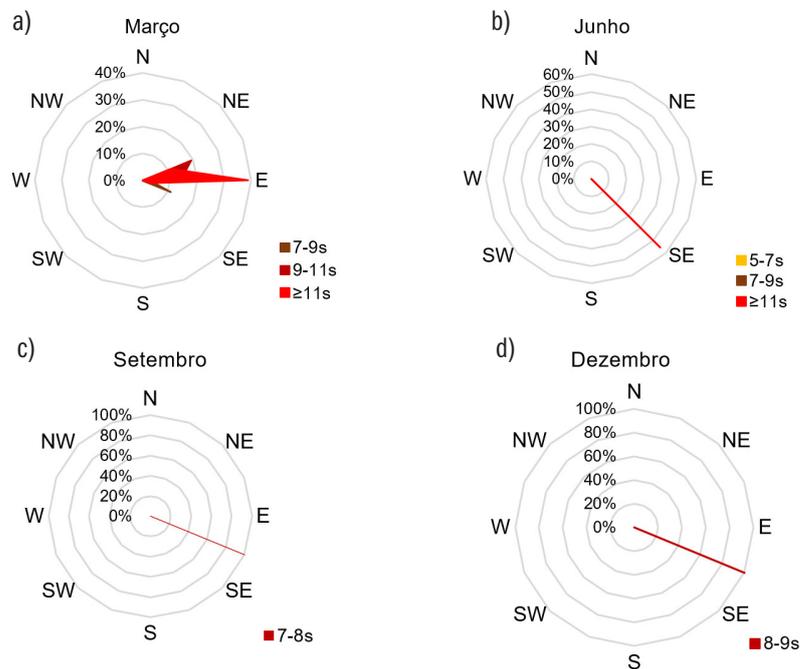


Figura 6: Direção e período da onda durante os meses de coleta na Ilha de Itamaracá em 2022.

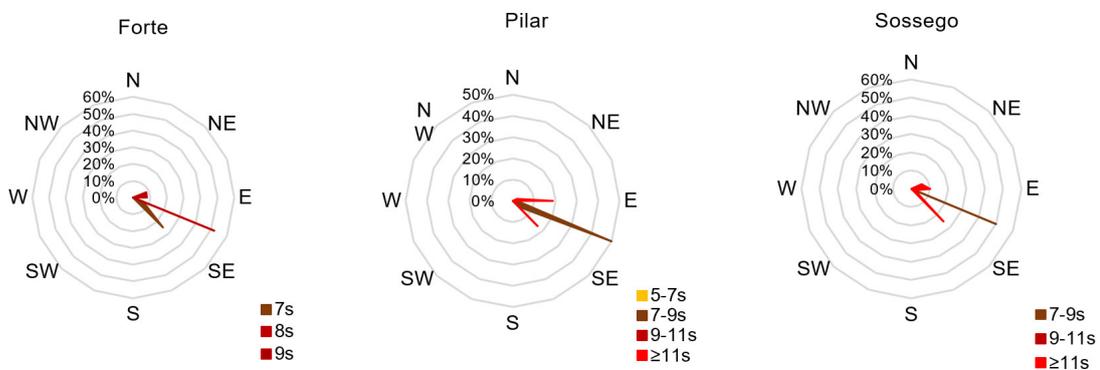


Figura 7. Gráfico direção e período da onda (s) na praia do Forte, Pilar e Sossego.

3.2 Arribadas

A deposição de arribadas foi composta por macroalgas, detritos de manguezal (folhas), distribuídos ao longo dos meses nas três praias representadas na figura 8. No Forte, na maior parte do ano, folhas de manguezal estavam em abundância, exceto em dezembro. Tanto macroalgas quanto folhas e vegetação de restinga ocorreram no Pilar, e ambos estavam ausentes em junho. Ao norte da Ilha, a arribação da praia do Sossego foi dominada por uma grande quantidade de macroalgas ao longo dos meses.

Nos meses mais chuvosos, Sossego teve pesos médios de biomassa vegetal quase dez vezes maior do que Pilar e Forte (Figura 8). No período mais seco, a média de biomassa vegetal foi maior em dezembro na praia do Pilar (376,7±207,4 kg/100m²) e no Sossego (304,9±105,4 kg/100m²). Em setembro as praias do Forte e Pilar tiveram médias de biomassa vegetal inferiores a 1kg/100m² (Figura 8).

Um peso total de mais de quatro mil quilogramas por 100m² de biomassa vegetal foram usados no estudo com coleta e peso estimado. Na estação seca o peso total de biomassa vegetal seca foi superior (2934,5 kg/100m²) à quantidade dos meses chuvosos (1769,5 kg/100m²) (Figura 9a). Diferenças estatísticas significativas não foram observadas (Tabela 1) entre as médias desses detritos durante o período chuvoso (98,3 ± 28,9 kg/100m²) e seco (163 ± 50,9 kg/100m²).

Comparando os meses (Figura 9b), dezembro teve maior média de peso biomassa vegetal (250,3 ± 82,3kg/100m²) se

diferenciando estatisticamente. Amostras com o menor peso foram coletas em setembro (74,8 ± 52,2 kg/100m²). Março e junho tiveram peso total médio semelhantes (94,9±40,3 e 101,7±43,9 respectivamente).

O peso médio de biomassa vegetal coletado foi diferente estatisticamente em relação às praias (Tabela 1). Sossego teve mais da metade de toda biomassa vegetal coletada (64.4%, 252,5 ± 41,4 kg/100m²) com diferença significativa na comparação com Forte, que teve menos de 10% do total de biomassa vegetal e uma média de 36,8 ± 17,2 kg/100m².

Tabela 1. Análise de Variância Multivariada com Permutações (PERMANOVA) para efeitos da estação, mês e praia sobre a biomassa vegetal (kg.100m⁻²). Diferenças significativas representadas em negrito ($p \leq 0,05$).

	Df	SumOfSqs	R ²	F	Pr(>F)
Estação	1	1,179	0,03369	17,997	0,197
Mês	2	4,394	0,12554	33,528	0,051
Praia	2	9,178	0,26224	70,034	0,002
Estação:Praia	2	1,632	0,04663	12,453	0,303
Mês:Praia	4	2,889	0,08255	11,023	0,361
Resíduos	24	15,727	0,44934		
Total	35	35,000	100,000		

Uma resposta de 58% para biomassa vegetal em relação às variáveis meteo-oceanográficas e fatores de composição foi obtida pela Análise de Correspondência Canônica (CCA), com proporção cumulativa de 57% na CCA1 e 58% na CCA2 do total explicado (Tabela 2).

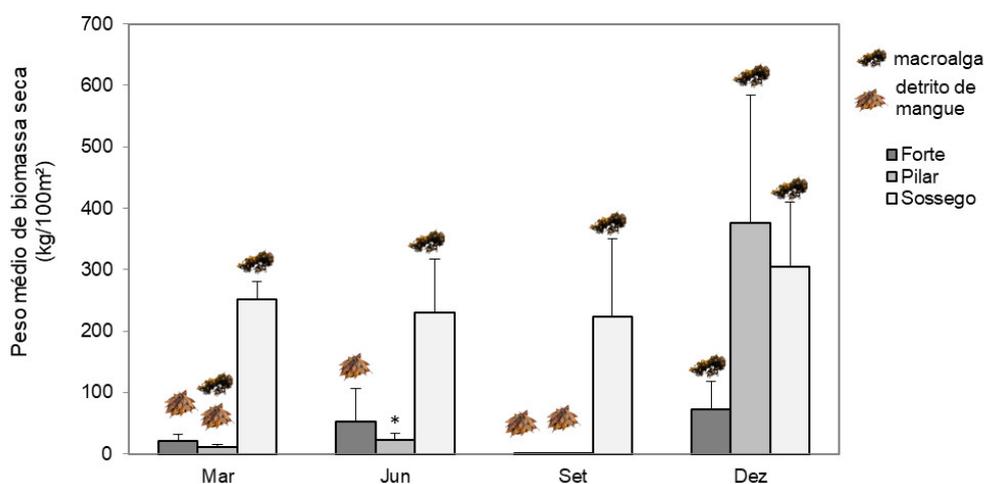


Figura 8. Composição da biomassa vegetal estimada nas praias ao longo dos meses. *Ausente.

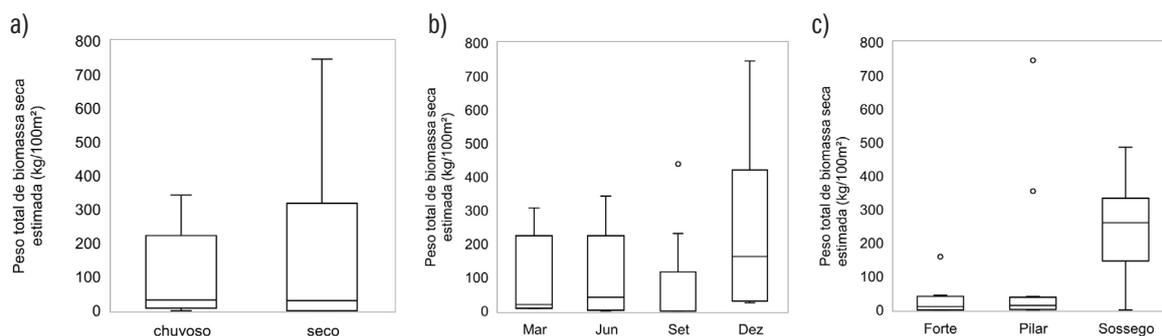


Figura 9. Peso total de biomassa vegetal seca por estação (a), meses (b) e praias (c) coletadas.

Tabela 2. Análise de Correspondência Canônica para biomassa vegetal com as variáveis meteo-oceanográficas e fatores de composição.

Particionamento de qui-quadrado em escala	Inércia		Importância de componentes	CCA1	CCA2
	Inércia	Proporção			
Total	0,3215	10000	Autovalor	0,1845	0,003898
Constrained	0,1884	0,5859	Proporção explicada	0,5738	0,012123
Unconstrained	0,1331	0,4141	Proporção cumulativa	0,5738	0,585911

Biplot scores para as variáveis de restrição:

	CCA1	CCA2
Cobertura	0,34054	-0,5691
Detrito	-0,52398	0,0182
Velocidade vento	-0,04984	0,1746
Direção vento	-0,08158	-0,4330
Período	0,07887	-0,2406
Altura	0,01694	0,2141
Direção onda	-0,01836	-0,2821
Precipitação	-0,01113	-0,2831

Testes de significância estatística em relação às variáveis explicativas e eixos da CCA indicaram que grau de cobertura, tipo de detrito, direção do vento e precipitação (Tabela 2) como principais fatores de resposta ao peso de biomassa vegetal nas praias. A primeira componente canônica (CCA1) explicou uma porção significativa da variação nos dados (Tabela 3). As amostras de biomassa vegetal do Forte foram distribuídas ao longo do eixo de CCA1 (Figura 10 e Tabela 4), com influência das variáveis associadas a esse eixo, como grau de cobertura e tipo de detrito. Enquanto os pesos de biomassa vegetal presente no Pilar e no Sossego (Figura 10) mostraram menor associação

com as variáveis distribuídas em CCA1 e CCA2. Precipitação foi e direção do vento foram os fatores meteo-oceanográfico que mostraram correlação com os eixos (Tabela 3).

Tabela 3. Teste de significância das variáveis na análise de correspondência canônica (CCA). Em negrito os valores com significância ($p \leq 0,05$).

	Df	ChiSquare	F	Pr(>F)
Cobertura	1	0,022657	45,946	0,050
Detrito	1	0,041928	85,027	0,021
Velocidade vento	1	0,015442	31,316	0,052
Direção vento	1	0,000206	0,0417	0,910
Período	1	0,006049	12,267	0,232
Altura	1	0,009165	18,586	0,135
Direção onda	1	0,000898	0,1822	0,665
Precipitação	1	0,092041	186,652	0,001
Resíduos	27	0,133140		

Tabela 4. Teste de importância dos eixos por Permutação. Em negrito os valores com significância ($p \leq 0,05$).

	Df	ChiSquare	F	Pr(>F)
CCA1	1	0,184488	457,269	0,001
CCA2	1	0,003898	0,9661	1,000
Resíduos	33	0,133140		

Uma classificação de grau de cobertura de vegetação nos quadrantes amostrados foi feita baseada no “Guia de fotos de arribação de praia” de Haseler *et al.* (2019). Seis categorias, em termos de quantidades, foram usadas para análise de fotografias dos quadrantes: categoria 0, categoria 1, categoria 2, categoria 3, categoria 4 e categoria 5.

Em termos de estação climática, todas as categorias foram representativas tanto no período chuvoso quanto no período mais seco. Áreas não cobertas, raramente cobertas e intensamente cobertas foram as categorias com maior ocorrência (Tabela 5). Uma grande quantidade de áreas não cobertas ocorreu nos 3 primeiros meses de amostragem (maior ou igual 40%).

Quadrantes raramente cobertos (categoria 1) e levemente cobertos (categoria 2) foram observados com maior frequência em março (25,9% e 13,9% respectivamente) e dezembro (23,1% e 13,9% respectivamente) (Tabela 5). Em junho, a maioria das áreas foram classificadas nas categorias extremas, 0 (55,6%) e 5 (22,2%). Todos os graus de cobertura ocorreram em dezembro, com quadrantes diversificados em relação às categorias. Dezembro também foi o mês com menor número de áreas sem cobertura ($n=16$) comparado a março ($n=40$), junho ($n=60$) e setembro ($n=60$). Em relação às praias, a tabela 3 mostra como Forte e Pilar tiveram mais da metade das suas áreas sem cobertura de biomassa vegetal (categoria 0), enquanto Sossego destaca-se como a praia com maiores percentagens de áreas levemente cobertas até áreas com intensa cobertura.

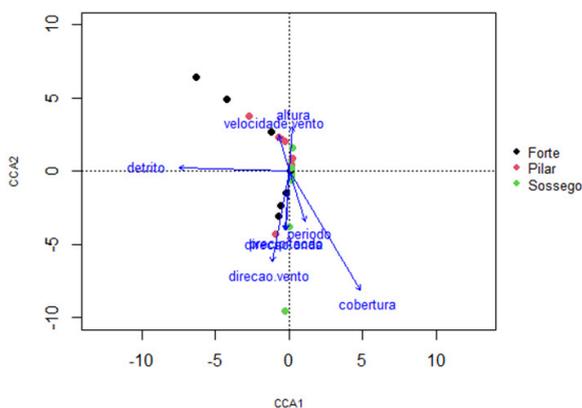


Figura 10. Análises de Correspondência Canônica para relação entre o peso de biomassa vegetal, variáveis ambientais e fatores de composição (tipo e cobertura).

3.3 Itens de lixo marinho

Um total de 2.013 itens de lixo foram coletados em 3 praias da Ilha de Itamaracá. Plásticos representaram 72% dos itens de lixo (Figura 11a). Vidro e cerâmica (19%), outros itens (4%), tecido, metal, borracha, madeira e isopor também estavam presentes embora tenham sido representados por menos 1% dos itens. Embalagens de alimentos de uso único (PLO6) foram o tipo de plástico mais abundante com mais de 500 itens, seguidos por

material de construção (GC01) e outros itens plásticos (PL24) como fragmentos rígidos e flexíveis, fragmentos de embalagens e rótulos (Figura 11b).

Tabela 5. Frequência de ocorrência (%) dos diferentes graus de cobertura (categorias de 0 a 5) por estação climática, mês e praia.

	0	1	2	3	4	5
Chuvoso	48,1	14,8	12,0	6,5	6,0	12,5
Seco	35,2	18,5	12,5	11,6	9,3	13,0
Mar	40,7	25,9	13,9	8,3	8,3	2,8
Jun	55,6	3,7	10,2	4,6	3,7	22,2
Set	55,6	13,9	11,1	6,5	6,5	6,5
Dez	14,8	23,1	13,9	16,7	12,0	19,4
Forte	56,3	20,8	10,4	5,6	6,3	0,7
Pilar	61,8	22,2	3,5	6,3	4,9	1,4
Sossego	6,9	6,9	22,9	15,3	11,8	36,1

Não foram observadas diferenças estatísticas nessa concentração de lixo de acordo com os períodos climáticos e entre os meses (PERMANOVA, $p \geq 0,05$). No entanto a PERMANOVA (Tabela 6; Figura 13) mostrou diferenças significativas para as praias e na interação estação:praia ($F = 49,9$; $p \leq 0,05$).

Embora não tenha apresentado diferenças estatísticas significativas, o período climático menos chuvoso (estação seca) teve maior densidade de itens de lixo (Figura 13a), com um total de 1316 itens e média de $73,11 \pm 26,16$ itens/100m² comparada com a estação chuvosa (697 itens) com uma média de $38,72 \pm 10,74$ itens/m².

Quanto às praias, nenhuma das comparações entre os pares de praias (Figura) resultou em diferenças estatísticas significativas, embora as comparações em termos de número total de itens diferem entre as praias analisadas. Mais de 70% ($n = 969$) dos itens ocorreram no Sossego durante a estação seca. No Forte estavam 61,3% ($n = 427$) dos itens coletados na estação chuvosa, enquanto Pilar e Sossego tiveram um total de 78 e 192 itens/m² respectivamente (Figura 13b).

No geral, Sossego foi representada por 57,67% dos itens de lixo coletados para o estudo, com um total de 1161 itens (média 96,75 itens/100m²). Essa praia também teve a maior densidade de itens plásticos, com 969 itens/100m² em setembro e

dezembro (61,8%) e uma média anual de 96,7± 38,4. Essa média para o Forte foi igual a 49,3 ± 13,64 itens/100m² (591 itens) e 21,75±3,31 itens/100m² (261 itens) no Pilar.

Em relação aos meses (Figura 12a e 13c), a maioria dos itens de lixo coletados ocorreu em setembro 47,3% (n = 952), seguido por dezembro (364 itens) com médias de 105,78±50,14 e 40,44±11,26 respectivamente. Março e junho tiveram número de itens de lixo semelhantes (339 e 358) representando 34,6% de todo material encontrado.

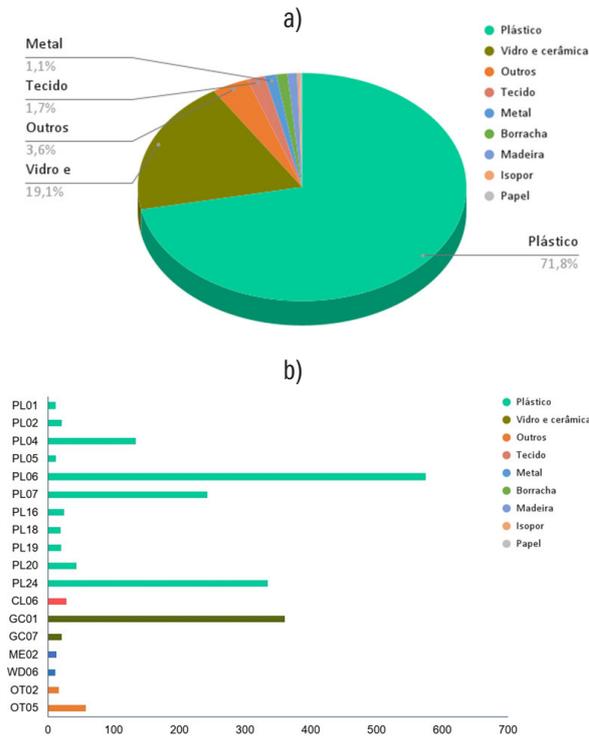


Figura 11 Material (a) e diversidade (b) dos itens de lixo coletados nas praias de Itamaracá .

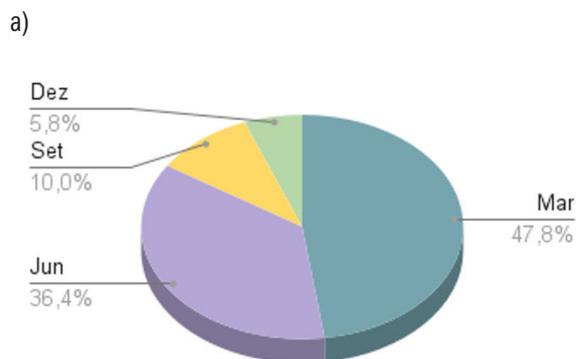


Tabela 6. Resultados da Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) para efeitos da estação, mês e praia sobre itens de lixo (itens.100m⁻²). Diferenças significativas representadas em negrito (p ≤ 0,05).

	Df	SumOfSqs	R2	F	Pr(>F)
Itens totais: 2013					
Estação	1	1,459	0,04169	22,931	0,184
Mês	2	2,636	0,07532	20,713	0,151
Praia	2	4,737	0,13534	37,218	0,026
Estação:Praia	2	6,355	0,18156	49,930	0,011
Mês:Praia	4	4,541	0,12973	17,838	0,141
Resíduos	24	15,273	0,43636		
Total	35	35,000	100,000		
Itens totais: 1651					
Estação	1	2,925	0,08357	50,099	0,010
Mês	2	2,589	0,07398	22,174	0,110
Praia	2	6,626	0,18932	56,748	0,005
Estação:Praia	2	4,275	0,12215	36,614	0,022
Mês:Praia	4	4,573	0,13066	19,582	0,092
Resíduos	24	14,012	0,40033		
Total	35	35,000	100,000		

Do total de 2.013 itens 362 objetos foram classificados na categoria de detritos relacionados a resto de construção, totalizando 1.651 itens, abordados aqui separadamente devido à grande quantidade de objetos coletos. Mais itens ligados a resto de material de construção ocorreram no período chuvoso (n = 303) em comparação ao período com menos chuva (n = 57). Em relação aos meses (Figura 12a), esses itens tiveram maior abundância em março (47,8%) e em junho (36,4%) referente ao total de itens classificados como GC01 (n = 360). No Sossego esses detritos estavam ausentes, enquanto 305 itens estavam presentes no Forte e 55 no Pilar

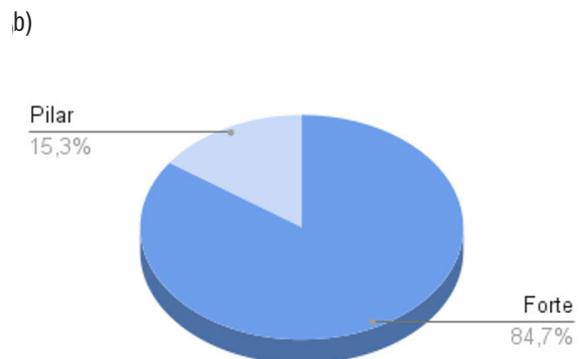


Figura 12. Abundância de itens relacionados a resto de material de construção por mês (a) e por praia (b).

(Figura 12b). A ocorrência desses itens de lixo distribuídos sob efeito das variáveis foi descrita na Figura 11 através da Análise de Correspondência Canônica (CCA).

Quando os itens de lixo totalizaram 1.651 detritos, a estação climática ($F = 50,0; p \leq 0,05$), as três praias ($F = 56,7; p \leq 0,05$) e a interação estação:praia ($F = 36,1; p \leq 0,05$) apresentaram diferenças estatísticas significativas. Os padrões

estatísticos para o fator praia e o fator interação apresentaram semelhanças com os resultados observados também para o total de 2013 itens (Tabela 6).

Quanto às estações climáticas, a estação seca se manteve como estação com mais itens de lixo (Figura 13a), com uma média de $69,83 \pm 26,51$ itens/100m² comparada com a classificação para os 2013 itens ($73,11 \pm 26,15$ itens/100m²).

Tabela 7. Análise de Correspondência Canônica para itens de lixo com as variáveis meteo-oceanográficas e fatores de composição.

Particionamento de qui-quadrado em escala (Partição da inércia - variância explicada):

	Inércia	Proporção
Total	0,21325	10000
Constrained	0,08471	0,3972
Unconstrained	0,12854	0,6028

Importância de componentes:

	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6	CCA7	CCA8
Autovalor	0,04751	0,01960	0,006126	0,005218	0,004913	0,0009288	0,0003348	0,00008349
Proporção explicada	0,22278	0,09191	0,028726	0,024470	0,023038	0,0043554	0,0015699	0,00039152
Proporção cumulativa	0,22278	0,31470	0,343423	0,367894	0,390932	0,3952869	0,3968568	0,39724829

Biplot scores para as variáveis de construção:

	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6
Cobertura	-0,697382	-0,29529	-0,17142	0,32018	0,06236	0,44282
Detrito	0,719213	-0,24712	0,43118	-0,16461	-0,22761	0,01419
Velocidade vento	0,007369	0,67076	0,01406	0,04265	-0,23022	0,16019
Direção vento	0,197503	-0,25904	-0,85552	-0,24142	-0,15844	-0,15714
Período	-0,238182	-0,30931	-0,17760	0,54613	-0,55118	-0,32247
Altura	0,059340	0,19961	0,25670	-0,17487	0,76748	0,02842
Direção onda	-0,094955	0,06861	-0,44809	-0,02978	-0,67423	0,49805
Precipitação	0,236026	-0,24715	-0,42982	0,49737	-0,54897	0,07723

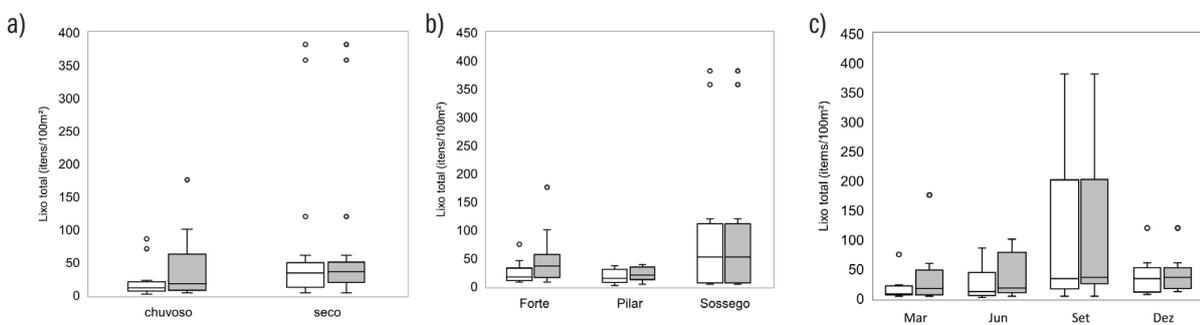


Figura 13. Número de itens por período climático (a), praias amostradas (b) e meses coletados na Ilha de Itamaracá (c) para um total de 1651 itens (barras vazias □) e itens de 2013 (barras pintadas ■).

Em relação às praias, dos total igual a 591 itens classificados, 15% (n=307) eram relacionados a restos de construção na praia do Forte e quase 3% (n=55) no Pilar, que teve um total de 261 itens. Sossego foi a única praia em que esses itens não estavam presentes (Figura 13b) e apresentou diferenças estatísticas em relação às outras ($p \leq 0,05$) nas comparações entre os pares de praias. As concentrações médias dos itens foi de $23,6 \pm 5,73$ itens/100m² no Forte, $17,16 \pm 3,54$ itens/100m² no Pilar e $96,75 \pm 38,40$ itens/100m² no Sossego.

Embora não tenha apresentado diferenças estatísticas, a maior diferença no número de itens ocorreu em março (n=172) e junho (n= 131). Setembro e dezembro mantiveram médias semelhantes para um total de 2013 e 1651 itens (Figura 13c) respectivamente: setembro $105,77 \pm 50,13$ e $101,55 \pm 50,94$ itens/100m²; dezembro $40,44 \pm 11,26$ e $38,11 \pm 11,85$ itens/100m².

Variáveis meteo-oceanográficas (velocidade e direção do vento, altura, período e direção da onda e precipitação) junto aos fatores de composição (grau de cobertura e tipo de detrito) foram responsáveis pela ocorrência de 39% dos itens de lixo nas 3 praias de acordo com a Análise de Correspondência Canônica (CCA). A proporção de explicação foi de 22% da CCA1 e 31% da CCA2 (Tabela 7).

Quanto aos testes de significância estatística em relação ao conjunto de variáveis explicativas e eixos da CCA, foi realizada permutação com modelo reduzido com 999 permutações, indicando que grau de cobertura, tipo de detrito, direção do vento e precipitação (Tabela 8) foram as principais variáveis responsáveis pela distribuição do lixo nas praias sendo significativas no modelo da CCA ($p \leq 0,05$), sendo o eixo CCA1 o mais significante (Tabela 9).

Tabela 8.: Teste de significância das variáveis na análise de correspondência canônica (CCA). Em negrito os valores com significância ($p \leq 0,05$).

	Df	ChiSquare	F	Pr(>F)
Cobertura	1	0,025746	54,082	0,001
Detrito	1	0,014773	31,032	0,020
Velocidade vento	1	0,012877	27,049	0,037
Direção vento	1	0,007982	16,767	0,150
Período	1	0,004022	0,8448	0,456
Altura	1	0,002075	0,4358	0,809
Direção onda	1	0,002624	0,5512	0,728
Precipitação	1	0,014614	30,699	0,023
Resíduos	27	0,128536		

Tabela 9. Teste de importância dos eixos por Permutação. Em negrito os valores com significância ($p \leq 0,05$).

	Df	ChiSquare	F	Pr(>F)
CCA1	1	0,047508	99,795	0,006
CCA2	1	0,019601	41,173	0,194
CCA3	1	0,006126	12,868	0,987
CCA4	1	0,005218	10,961	0,986
CCA5	1	0,004913	10,320	0,953
CCA6	1	0,000929	0,1951	1,000
CCA7	1	0,000335	0,0703	1,000
CCA8	1	0,000083	0,0175	1,000
Resíduos	27	0,128536		

O lixo presente no Sossego e no Pilar ocorreu em resposta ao grau de cobertura e período da onda, enquanto o lixo observado no Forte teve forte relação com tipo de detrito e precipitação registrados nessa área. O eixo CCA1 mostrou uma associação positiva com os fatores que influenciaram os itens do Forte e uma associação negativa com a cobertura e período (Figura 14). O eixo CCA2, embora sem significância estatística, mostrou forte associação positiva com velocidade do vento, que influenciou algumas amostras coletadas nos transectos do Forte.

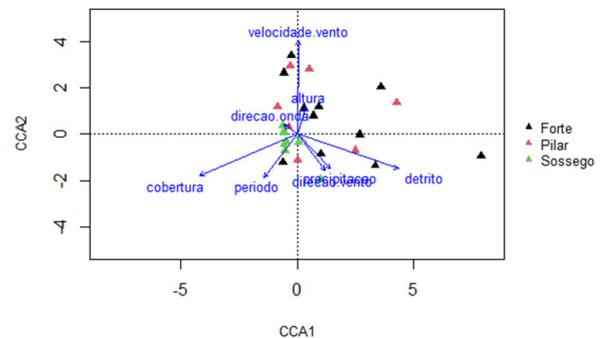


Figura 14. Análises de Correspondência Canônica para relação entre o lixo das praias, variáveis ambientais e fatores de composição.

3.4 Lixo e Arribadas

Do total de 2.013 itens de lixo, sem a separação dos itens de vidro e cerâmica, 16,8% ocorreram em março, 17,7% em junho, 47,2% setembro e 18% em dezembro. Ao longo do estudo foi coletado um total de 4.704,026 kg/100m² de detritos naturais. A Figura 15 mostra o registro cumulativo de áreas de ocorrência para cada mês e praia para os itens de lixo e para a biomassa seca, não sendo um comparativo entre itens e peso, tratando-se de uma análise entre meses e praias.

Toda a biomassa vegetal resultante da amostragem de dezembro (Figura 15a) foi de aproximadamente 48% de todo material vegetal coletado. Essa quantidade de biomassa vegetal, em termos de área, foi maior do que o número de itens (18%) em dezembro (Figura 15a). Itens de lixo e a biomassa tiveram uma ocorrência proporcional em março e junho. Quantidades inversas ocorreram em setembro e dezembro. O mês com mais itens de lixo foi também o mês com áreas de menor acúmulo de biomassa vegetal.

Em relação aos locais, a proporção de áreas com lixo e com biomassa vegetal foi próxima no Sossego. No Forte foi observado mais áreas que continham itens de lixo do que áreas com grandes quantidades biomassa vegetal (Figura 15b). Do total de toda a biomassa vegetal coletada nas praias, Pilar foi a segunda praia com mais arribadas, com 26%, mostrado na figura 15d e teve menor quantidade de lixo (13%) em relação às outras praias.

Um total de 432 quadrados (1m²) foram coletados e noventa e cinco áreas apresentaram itens de lixo ausentes, representando 21% (n = 95) do total, enquanto 19% das áreas continham detritos naturais. Todos os meses apresentaram quadrantes vazios. As áreas coincidentes, sem lixo e sem detrito natural, foram quase 7% (n = 30). Ocorreram em maior número em junho (n = 18), seguido por setembro (n = 6), março (n = 3) e dezembro

(n = 3). Um total de 108 quadrantes (áreas de 1x1m) foram analisadas para cada mês.

Em março 80 áreas (74%) tiveram pelos menos um item de lixo, enquanto que 91 (84,85%) do total analisado para esse mês (n=108) continham algum detrito natural. Um pouco mais da metade das áreas de junho (n = 63; 58,33%) também continha algum item de lixo e detrito natural foi observado em 71. Comparando essas áreas de ocorrência, setembro foi o mês com mais itens (88,11%) do que detrito (75%). Em dezembro quase todas as áreas com lixo (n = 97; 89,81%) também detritos naturais também estavam presentes (n = 104; 96,29%).

Para explorar a interação dos dados de lixo (número de itens) e biomassa vegetal (peso total) foi aplicada Análise multivariada permutacional de variância (PERMANOVA) descrita na tabela 10. Estação climática, mês, praia e a interação estação:praia responderam com diferenças significativas. No teste a posteriori (*pair-wise test*) nenhuma das comparações entre os meses resultou em uma diferença estatisticamente significativa, portanto não houve evidências de que os meses diferem entre si em termos de lixo e biomassa vegetal. Já na combinação para as praias, Forte e Sossego e Pilar e Sossego foram estatisticamente diferentes, indicando grande variabilidade nos dados do Sossego em relação às outras praias.

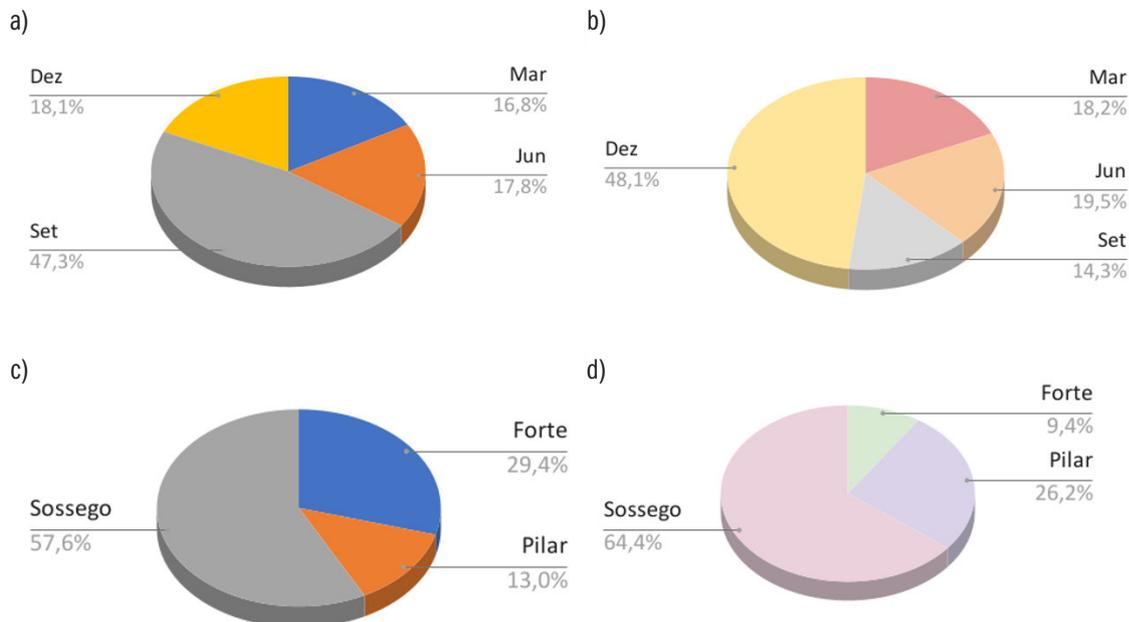


Figura 15. Porcentagem de lixo marinho total por mês (a) e por praia (c) e biomassa vegetal estimada acumulada por mês (b) e por praia (d).

Tabela 10. Resultado da PERMANOVA para itens de lixo e biomassa vegetal considerando estação climática, praia, mês e interações.

	Df	SumOfSqs	R2	F	Pr(>F)
Estação	1	4,104	0,05863	3,3122	0,040
Mês	2	6,983	0,09976	2,8178	0,027
Praia	2	15,805	0,22578	6,3774	0,001
Estação:Praia	2	5,907	0,08439	2,3837	0,050
Mês:Praia	4	7,462	0,10660	1,5056	0,163
Resíduos	24	29,738	0,42484		
Total	35	70,000	100,000		

Os padrões espaciais de interação entre esses detritos (lixo e arribadas) foram visualizados usando a técnica não-métrica de ordenação de escala multidimensional (NMDS). Variáveis meteorológicas e os fatores de composição dos detritos foram usados na construção do NMDS (Figura 16a). O gráfico das duas primeiras dimensões revelou que as amostras foram organizadas

com uma distribuição temporal ao longo dos meses (Figura 16b).

Em março as amostras do Pilar e Sossego se relacionaram com grau de cobertura e período da onda, enquanto em junho a distribuição sugere associação com período da onda, precipitação, direção do vento e da onda. Um agrupamento dos dados do Pilar e Sossego, sugere uma similaridade entre as amostras em junho. A dimensão NMDS2 permitiu visualização das amostras de setembro relacionadas com o tipo de detrito e um grupo (Sossego) pela altura da onda e de itens de lixo. O peso da biomassa vegetal diferenciou os dados de dezembro. As amostras distribuídas ao longo do eixo NMDS1 sugere que os detritos que ocorreram em março, setembro e dezembro possuíam maior variação entre as praias.

Uma correlação positiva ($\rho = 0.58510$) foi observada entre os itens de lixo e velocidade do vento, com $p \leq 0,05$, indicando uma associação estatisticamente significativa entre essas duas variáveis (Tabela 11). O peso da biomassa vegetal e o grau de cobertura também mostraram correlações positivas fracas e significativas com o lixo.

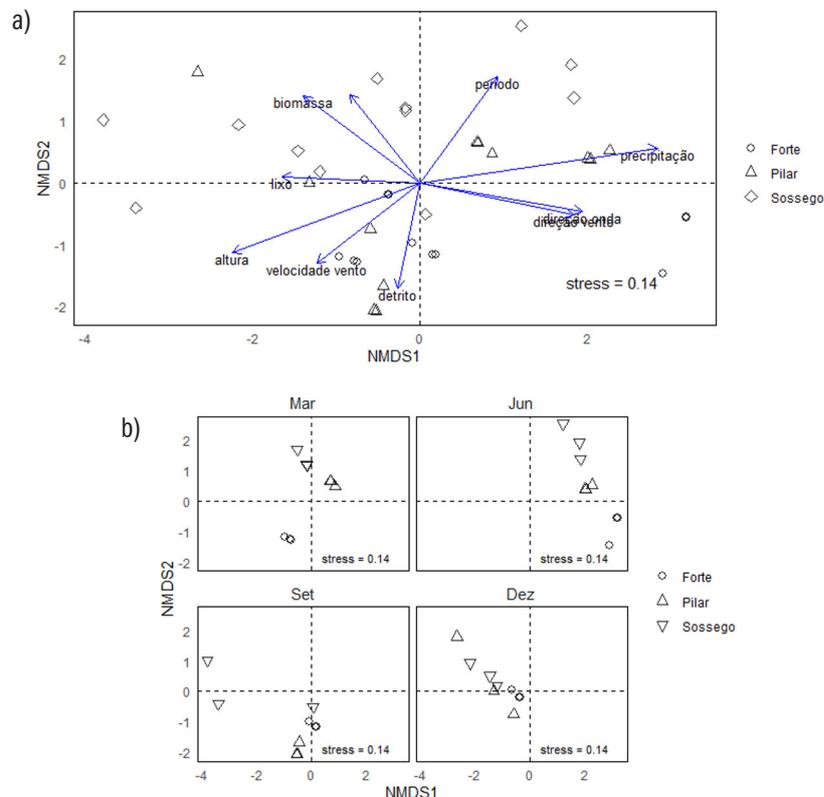


Figura 16. Gráficos de ordenação em escala multidimensional não métrica (NMDS) para itens de lixo e biomassa vegetal estimada nas praias da Ilha de Itamaracá com variáveis ambientais e fatores de composição (a) e de acordo com os meses de amostragem (b).

O peso da biomassa vegetal encontrado nas praias esteve fortemente correlacionado de forma positiva com o grau de cobertura ($\rho = 0,81755$) e em menor intensidade com período da onda ($\rho = 0,35633$) como apresentado na tabela 11. A direção da onda mostrou correlação negativa ($\rho = -0,31715$) com o detrito natural. As três variáveis foram estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$). Quanto à relação ao tipo de detrito (Tabela 11), a maioria das variáveis tem correlações muito fracas e valores de p indicando que suas correlações não são estatisticamente significativas. Apenas velocidade do vento mostrou uma correlação positiva moderada indica uma correlação positiva moderada estatisticamente significativa ($\rho = 0,34020$ e $p \leq 0,05$).

Potencial de emaranhamento

Os itens foram distribuídos em 49 categorias e as categorias mais abundantes em termos de formato foram recipientes para alimentos e vidro e cerâmica. Dentro da classificação do potencial de emaranhamento os recipientes para alimentos foram classificados como itens ociosos com baixo grau de emaranhamento e vidro e cerâmica como itens sólidos com grau muito baixo de emaranhamento. No entanto, em uma análise mais detalhada, os recipientes para alimentos também incluem fragmentos de copo (Figura 17b) que têm potencial de emaranhamento muito alto.

Itens sólidos e ociosos foram os mais comuns nas amostras de março e junho, com vidro e cerâmica e embalagens de alimentos. Itens ociosos e laminares estavam em abundância em setembro e dezembro (Tabela 12) representados por embalagens de alimentos e sacolas plásticas (Figura 17f). Itens sólidos e ociosos foram os mais comuns nas amostras de março e junho, com vidro e cerâmica (Figura 17d) e embalagens de alimentos (Figura 17f). Itens ociosos e laminares estavam em abundância em setembro e dezembro (Tabela 12) representados por embalagens de alimentos e sacolas plásticas.

Os outros itens sólidos além dos vidros foram registrados em março, incluindo plásticos, metal, madeira e outros. Itens de linha (Figura 17a) estavam entre as formas mais abundantes de materiais plásticos que também abrangem rede de pesca, sacos plásticos de tecido, equipamentos de pesca e corda. A rede de pesca foi o item laminar mais abundante em março ($n = 16$) de um total de 21 objetos. Embalagens de alimento dominaram os itens ociosos de março, com 22 dos 33 itens que continham também tampas de garrafas, tampas e garrafas. Alguns itens tinham formatos combinados, então itens mistos com emaranhamento médio foram definidos como "MS"

(misturados, itens sólido-laminares). O formato MS em março continha 71 tipos de outros itens plásticos divididos em fragmentos de embalagem, cabos de energia, peças de plástico rígido e emaranhados.

Tabela 11. Correlações de Spearman para os itens de lixo e peso de biomassa vegetal versus variáveis ambientais e fatores de composição. Valores em negrito indicam significância ($p \leq 0,05$).

		ρ	p-value
Lixo	detrito	0,21554	0,206760901
	cobertura	0,44869	0,006055658
	biomassa vegetal	0,32487	0,05320433
	velocidade vento	0,58511	0,000178198
	direção vento	-0,04349	0,801145022
	período	-0,12347	0,473108087
	altura onda	0,20812	0,223206653
	direção onda	0,07061	0,682398002
	precipitação	-0,30282	0,072622614
	Biomassa vegetal	detrito	-0,02223
cobertura		0,81755	1,16226E-09
lixo		0,32487	0,05320433
velocidade vento		-0,00991	0,954248026
direção vento		-0,26964	0,111747852
período		0,35633	0,032918891
altura onda		0,17373	0,310902388
direção onda		-0,31715	0,059469925
precipitação		-0,20807	0,223313018
Tipo de detrito		cobertura	-0,05299
	lixo	0,21554	0,2067609
	biomassa vegetal	-0,02223	0,89759718
	velocidade vento	0,34020	0,04234222
	direção vento	-0,01430	0,93404184
	período	-0,15790	0,35770995
	altura onda	0,27011	0,11110214
	direção onda	-0,12913	0,4529144
	precipitação	-0,10879	0,52765478

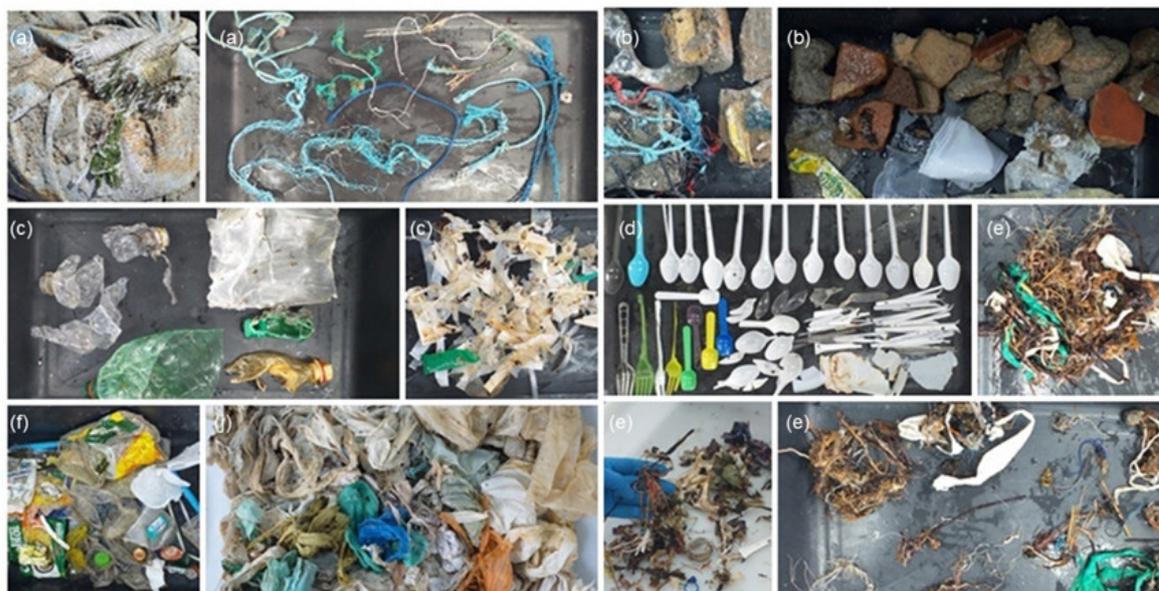


Figura 17. Exemplos de itens e formas de lixo encontrados nas praias da Ilha de Itamaracá. (a) LI - Itens de linhas (emaranhamento muito alto); (b) S - Itens sólidos (emaranhamento muito baixo); (c) O - Itens ocios degradados (emaranhamento baixo na forma original); (d) MS - Misturados; (e) Emaranhados; (f) LM - Itens Laminados (emaranhamento alto).

Tabela 12. Abundância de formas em função dos meses e praias de amostragem de itens de lixo na Ilha de Itamaracá.

	Março	Junho	Setembro	Dezembro	Forte	Pilar	Sossego
O	33	104	341	139	91	65	460
LI	19	20	83	45	28	42	91
LM	20	30	209	79	47	87	463
S	195	166	145	51	347	66	143
MS	71	38	174	51	78	1	4

Mais de 70% dos itens encontrados em junho eram ocios (104) ou sólidos (166). Objetos classificados como MS de junho eram semelhantes aos itens MS de março. Formas laminares nesse mês tiveram maior diversidade, incluindo sacolas plásticas, embalagens de bebidas, cordas, tecidos, fragmentos de vidro ou cerâmica, embalagens de papel alumínio e balões. Itens relacionados à pesca tiveram 20 peças em formato de linha.

O lixo de setembro continha todas as formas descritas na tabela 12. Eram itens de linha ($n = 83$), laminares ($n = 209$), ocios ($n = 341$), sólidos ($n = 145$) e misturados ($n = 174$). A forma mais abundante, itens ocios, continha lixo composto de plástico, espuma, vidro e cerâmica, metal, papel e borracha. Embalagens de alimentos representaram 93% dos itens ocios. O

maior número de lixo amostrado para dezembro foi classificado como itens ocios e laminares, seguidos por itens sólidos, MS e de linha (Tabela 10). O plástico foi o material mais abundante, observado na forma oca ($n = 133$) e laminar ($n = 61$), compostos por recipientes para alimentos e sacos plásticos.

Quanto às praias, no Forte a forma mais abundante foi o lixo sólido ($n = 347$). No Pilar ($n = 87$) e no Sossego ($n = 463$) lixo em formato laminar foram maioria. Ainda no Sossego itens ocios ($n = 460$) e sólidos ($n = 143$) também estavam presentes nas amostras de lixo.

Emaranhados

Cerca de 53 itens de lixo coletados na Ilha de Itamaracá foram identificados como itens de emaranhamento (Figura 18a). O acúmulo desses itens ocorreu em 44 quadrantes com diferentes padrões de distribuição e categorias de cobertura (Figura 18b) ao longo dos meses e das praias.

Setembro e dezembro tiveram grande número de emaranhados quando comparados aos outros meses (29 e 16 emaranhados, respectivamente). Em março, corda, linha de náilon e saco plástico fragmentado foram identificados nos 2 emaranhados no Forte e no Sossego. Os transectos do Forte onde esses itens foram encontrados possuíam material arribado composto por restos de manguezal (poucas folhas) e macroalgas no

Sossego. Os quadrantes de ocorrência desses emaranhados na classificação do grau de cobertura de detritos foram identificados (Figura 18b) como não cobertos (<1%) e fortemente cobertos (51 - 75%).

Fragmentos de sacos de rafia, nylon de linha e retalhos de tecido foram observados emaranhados de junho distribuídos em 6 quadrantes, em um transecto do Pilar e 2 do Sossego. O transecto do Pilar era composto por fragmentos de macroalga e com áreas onde o detrito estava praticamente ausente, enquanto nos outros dois transectos macroalgas estavam presentes no Sossego. Os quadrantes apresentaram diferentes graus de cobertura de: não coberto (1 quadrante no Pilar) a intensamente cobertos (5 quadrantes no Sossego).

Os emaranhados de setembro possuíam cordas, redes de frutas, sacos plásticos, fragmentos de sacos rafia, linhas de pesca, raízes e fibras de algodão. Um total de 29 emaranhados foram coletados nas três praias nesse período. As áreas de origem dos emaranhados tiveram composição de material diversificada, com detritos de mangue (folhas), macroalgas e fanerógamas marinhas. A maioria dos itens emaranhados de setembro estava no Sossego, com quadrantes intensamente cobertos e no Pilar, em áreas sem cobertura ou raramente cobertas.

Em dezembro, nos itens emaranhados havia sacos plásticos, redes de pesca e fitas de saco de rafia. Todos os transectos emaranhados, 1 no Forte, 2 no Pilar e 3 no Sossego, eram compostos por macroalgas e todos os quadrantes apresentaram grau de cobertura de raramente coberto a intensamente coberto. Um total de 16 emaranhados foram identificados nas amostras de dezembro.

Do total de 43 áreas com itens emaranhados, o local com maior grau de cobertura de detritos ocorreu no Sossego (categoria 5) como mostra a Figura 18b. Mais da metade (60,3%) dos emaranhados foram coletados nessa praia, enquanto 32% dos emaranhados estavam nas amostras do Pilar em 7 quadrantes sem cobertura do total de 14 com emaranhados. Na praia do Forte 4 emaranhados foram observados em quadrantes das categorias de 0 a 2 (< 1% a 25% de cobertura), com pelo menos 1 item em cada mês, exceto em junho (Figura 18a).

4. DISCUSSÃO

4.1 Variáveis meteo-oceanográficas

O presente estudo registrou valores de precipitação acima da média histórica para Itamaracá. Em 2022, maio registrou quase o dobro do valor para a precipitação histórica da Ilha. Do final de maio ao início de junho, chuvas intensas assim como inundações e deslizamentos foram registrados em todo o estado (Marengo *et al.*, 2023). Essas chuvas fortes resultaram em impactos econômicos, sociais e ambientais em várias cidades e mostrando necessidade de cidades costeiras, como Itamaracá, de lidar com extremos climáticos.

O litoral da Ilha é dominado por corrente de maré, que têm sua velocidade aumentado em períodos chuvosos (Araujo, 2022). Somado a isso, o resultado de chuvas intensas em Itamaracá pode ser muito influenciado pela dinâmica dessas marés. Essa dinâmica é mais forte perto da zona costeira e mais fraca na zona urbana (Marengo *et al.*, 2023), onde a contribuição da precipitação para a ocorrência de impactos como enchentes por exemplo, é mais importante do que as influências da maré (Yonehara & Kawasaki, 2020).

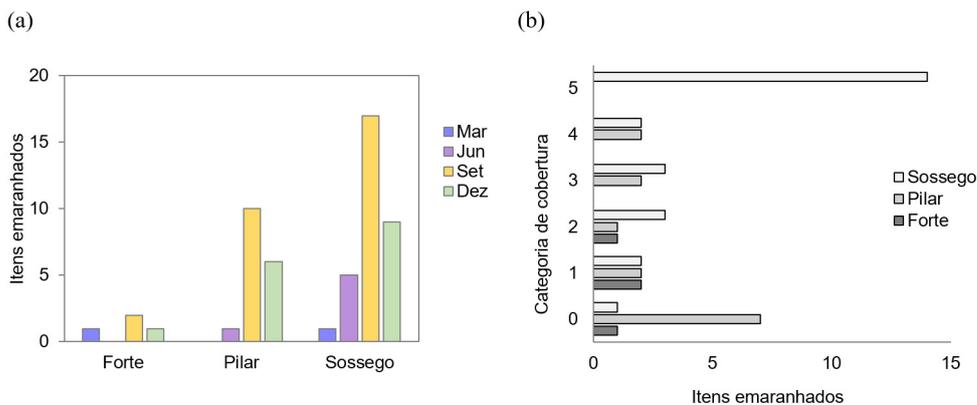


Figura 18. Número total de itens emaranhados ao longo dos meses nas praias (a) e categoria coberta por detritos naturais nas praias (b).

Para as 3 praias a direção de ventos predominantes de SE e as velocidades médias semelhantes se deve a proximidade das mesmas. A praia do Pilar e do Sossego são separadas por menos de 4km, enquanto a praia do Forte está a aproximadamente 8,5km do Pilar. Assim, mesmo com características físicas diferentes, as praias estão sob os efeitos dos mesmos ventos, com exceção do Forte, que se configura como um pontal no sentido sul da Ilha, onde o efeito do fluxo das correntes de maré domina a morfodinâmica local (Araújo *et al.*, 2021). Ventos mais intensos registrados tanto no Pilar quanto no Sossego podem ser resultado da localização, que são mais expostas à ação direta dos ventos costeiros ao longo da margem norte da Ilha.

Em relação aos ventos observados de março a dezembro, estes apresentaram direção predominante de sudeste (SE) e de leste (E), assim como descreve a literatura para a região (Almeida, 2018; Araújo *et al.*, 2021). Ventos mais intensos foram registrados em setembro e dezembro, corroborando com os dados já conhecidos para a Ilha com períodos de maior velocidade entre julho a outubro e menor velocidade entre dezembro a março (Almeida, 2018). Domingues *et al.* (2017) descrevem o regime de ventos local controlado pelo sistema semipermanente de alta pressão do Oceano Atlântico Sul com direção predominante E no verão e SE no inverno.

Ventos de SE ocorreram em setembro, seguindo um padrão para fevereiro a setembro e aumento da intensidade de junho a setembro (Bezerra, 2013). De abril a setembro, Araújo *et al.* (2021) também observaram ventos de SE (142°).

Comparando os dois primeiros meses (março e junho) com os registros do estudo durante setembro e dezembro, foi possível verificar um aumento na intensidade dos registros de velocidade. Ventos mais fortes num período de abril a setembro já tinham sido observados por Medeiros & Kjerfve (1993). Em dezembro ventos de E foram predominantes. Ventos de leste e menos intensos foram descritos para Ilha nos meses de novembro e dezembro (Almeida, 2018).

As direções predominantes das ondas foram E-SE, associadas a uma altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) no Forte e uma altura mínima ($H_{m\acute{i}n}$) no Pilar. Essas direções, altura e períodos de 5 a 7s dominam a Ilha durante o ano todo (Almeida, 2018). Março registou a $H_{m\acute{a}x}$ com pico de período no Sossego, enquanto junho, mês chuvoso, teve a $H_{m\acute{i}n}$ e o menor valor de período no Pilar. Assim, compreende-se que em períodos mais chuvosos ondas e períodos menores estão presentes, enquanto que em setembro e dezembro, meses mais secos, ocorreram maiores médias de alturas de ondas.

Um período $\geq 11s$ também ocorreu ligado a estação chuvosa e às direções de onda de E-SE. Ondas de SE prevalecem também nos achados de Araújo *et al.* (2021) nessa estação, assim como ondas de E e ESE (leste-sudeste) em meses com menos chuvas. No presente estudo, em setembro e dezembro a direção predominante foi ESE com período de onda de $< 9s$. Períodos de onda mais curtos (6s) são gerados por ventos locais, enquanto ventos oceânicos formam ondas com períodos mais longos ($> 10s$) que geralmente são originadas ainda em regiões distantes por tempestades e podem se propagar em bacias oceânica (Assunção, 2017). Uma média de 7,6s e pico de 9,9s foi observada na Ilha durante estação chuvosa (Araújo *et al.*, 2021). Picos semelhantes, de 7 a 9s ocorreram junto a ondas com direção ESE foram dominantes nas três praias.

4.2 Arribadas

A composição da arribação normalmente inclui grupos de macroalgas (Ferreira *et al.*, 2020), fanerógamas marinhas, folhas e galhos em praias de todo o mundo (Cucco *et al.*, 2020). Em avaliação de conhecimentos sobre algas pela região nordeste, Cavalcanti *et al.* (2021) já demonstrou que esse material arribado pode ser chamado de “sargaço” ou visto como lixo, já que esses detritos são comumente encontrados arribados junto aos detritos antropogênicos na areia da praia.

Assim como as taxas de deposição, o tipo de deposição (macroalgas, macrófitas ou folhas de mangue) podem ser variáveis em relação a cada praia, dependendo do tipo de exposição da praia, da hidrodinâmica próxima à costa, de características de fluabilidade e do tipo de sedimento. As linhas de deposição podem variar entre detritos envelhecidos ou novos, resultando no fluxo de nutrientes entre habitats (Orr *et al.*, 2005), incluindo manguezais e restingas.

A composição variável da arribação composta macroalga, folhas e vegetação de restinga nas praias da Ilha de Itamaracá é de origem local, formada principalmente pós eventos de ventos fortes, aumento do período e altura de ondas (Suursaar *et al.*, 2014; Isachenko *et al.*, 2023) e trazidas ainda pela ação das marés.

Os resultados demonstram que as arribações nas praias caracterizam o ambiente costeiro de modo que podem ser ferramentas para descrever a macro vegetação (Suursaar *et al.*, 2014) costeira da Ilha, que possui áreas de mangues, rios que desembocam no Canal de Santa Cruz, áreas estuarinas e praias resultando na caracterização da Ilha como APA (Área de Proteção de Santa Cruz) considerado os ambientes de relevante importância ambiental (CPRH, 2010).

A presença de folhas de mangue no Forte é resultado da localização da praia na foz do Canal de Santa Cruz. Folhas que ocorreram no Pilar é resultado do transporte desse material através de correntes de maré enquanto a vegetação de restinga ocorreu como uma possível resposta ao aumento da altura significativa de ondas nessa praia em setembro e dezembro. A arribação do Sossego composta por macroalgas tem sua origem local. A presença da foz do rio Jaguaribe e a baixa taxa de saneamento (IBGE, 2024) na Ilha tendem a ser fonte de matéria orgânica, que controla a riqueza e diversidade podendo aumentar a floração de macroalgas específicas em praias. Áreas com alto impacto antrópico tendem a ter alta cobertura de algas oportunistas (Vasconcelos *et al.*, 2019). O resultado da intensificação dos ventos nos meses mais secos foi as arribações nas três praias compostas por macroalgas.

Durante o período chuvoso onde essa deposição era pouca ou ausente pode-se supor que esses detritos são temporariamente estocados ou realocados em outras áreas da costa e reaparecem nos próximos períodos de verão. Como citado anteriormente, em dezembro com aumento dos períodos e dos picos das ondas houve um aumento da deposição das arribadas em todas as praias. As condições das ondas com efeito significativo na abundância de acumulações de macroalgas na areia da praia foram demonstradas por Herrero *et al.* (2023).

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os períodos climáticos, ambos tiveram grandes quantidades de arribação em todas as praias estudadas. O mês com maior peso de biomassa vegetal se diferenciou estatisticamente, sendo um período com menor média pluviométrica. Os meses mais chuvosos tiveram quantidades de biomassa vegetal semelhantes. Diferenças significativas ocorreram entre as praias com Sossego sendo a praia com maior peso de biomassa vegetal ao longo de três meses coletas exceto em dezembro, tanto nos meses mais chuvosos quanto no mês mais seco. A manutenção constante da descarga de nutrientes, a hidrodinâmica e a exposição dessa praia podem controlar as altas taxas de arribação nesse local.

Haseler *et al.* (2019) demonstrou que o monitoramento direto de arribação da praia foi inadequado no estudo de deposições nas categorias 0 e 1. No entanto no presente estudo o método adaptado, usando o “Guia de fotos de arribação de praia (GFAP)”, foi eficiente para categorização dos níveis de ocorrência de arribadas por cada área de 1m² nas praias corroborando com os pesos de biomassa vegetal coletados.

Como esperado, um grande número de áreas não cobertas foi observado nos meses com médias pluviométricas maiores.

Nos meses sem chuvas áreas intensamente cobertas foram mais frequentes, com destaque para as áreas do Sossego com maiores percentagens de ocorrência.

Em 26 áreas analisadas por Haseler *et al.* (2019), utilizando o GFAP a categoria 2 (6 a 25%) foi a mais observada (n=8). No presente estudo, de um total de 432 áreas a categoria 2 (5 a 25%) também foi a mais representativa (n=124), igualando os resultados do método usado anteriormente. Tanto nos períodos climáticos quanto nos meses, áreas não cobertas, incluídas na categoria 0, foram as mais observadas, com exceção de dezembro, que teve maior frequência de áreas raramente cobertas (categoria 1). Em relação às praias, Forte e Pilar foram raramente cobertas ao longo das coletas. O oposto ocorreu no Sossego, onde quadrantes intensamente cobertos dominaram essa praia assim como observado no peso de biomassa vegetal coletado nesse local.

Os principais fatores de resposta ao peso de biomassa vegetal nas praias foram os fatores ligados a composição (grau de cobertura e tipo de detrito) além da direção do vento e precipitação. Junto a esses fatores, a dinâmica das arribadas nas praias da Ilha é fortemente influenciada pelos efeitos da maré. Na praia do Forte essa maré se propaga pelo canal de Santa Cruz e no sentido norte da Ilha, pela costa de Catuama, próxima à praia do Sossego, onde os efeitos são atenuados desse lado (Medeiros *et al.*, 2001). No fundo costeiro da Ilha, o efeito das correntes de maré são os mais importantes, embora haja ainda o efeito do vento da superfície e da precipitação sobre esse sistema com variações sazonais (Medeiros *et al.*, 2001). Portanto, Itamaracá, assim como outros ambientes costeiros, é composta por sistemas sazonais de ventos, correntes, transporte ao longo da costa, controlando essa deposição variável arribadas assim como observado por Haseler *et al.* (2019) no Mar Báltico.

4.3 Itens de lixo marinho

O lixo estava presente em todas as praias, com predominância de itens plásticos. O plástico também foi o material mais encontrado em outros estudos na região (Ramos *et al.*, 2023; Ramos *et al.*, 2024). Além da presença desses resíduos, a Ilha também enfrenta outros impactos historicamente conhecidos como o despejo de esgoto não tratado em canais fluviais, a expansão urbana e comercial desordenada ao longo da costa, a ancoragem de embarcações e o descarte inadequado de detritos sólidos (Pitanga *et al.*, 2012).

Quanto aos detritos plásticos, tanto ilhas oceânicas quanto costeiras estão suscetíveis à presença desse tipo de lixo

(Monteiro *et al.*, 2018; Grillo & Mello, 2021; Pfuetzenreuter & Vieira, 2022; Santos *et al.*, 2024). Ilhas habitadas ou não comumente possuem acúmulo de lixo ao longo de suas costas por estarem expostas às correntes oceânicas que transportam esse material. Nesse sentido, praias de ilhas são locais fortemente poluídos por plásticos (Hidalgo-Ruz & Thiel, 2013).

Os principais itens de lixo plástico encontrados nas praias estudadas foram embalagens de comida, fragmentos flexíveis ou rígidos, sacos e sacolas, talheres e outros itens plásticos como fragmentos de embalagens e rótulos. A maioria desse lixo é classificada como item de uso único (UNEP, 2018) ou itens de consumo para viagem (Morales-Caselles *et al.*, 2021). A presença desses itens maioria está associados a usuários de praia em atividades recreativas, turísticas (Ramos *et al.*, 2021), lazer e veraneio.

A razão para as maiores quantidades de plásticos de uso único pode estar relacionada ao tipo de uso na praia ligada como lazer/veraneio, com um grande número de casas ocupadas apenas durante o período de verão, localizadas longe do centro urbano, no caso do Sossego. Nesse contexto, itens de uso único são itens que facilitam as necessidades em curtos períodos de ocupação. Recipientes de alimentos de uso único também são itens de uso na praia e fazem parte da maioria do lixo plástico marinho (80%) que se origina de fontes terrestres (Jambeck *et al.*, 2015).

O uso da praia como atividade de lazer, veraneio e turismo contribui para a poluição marinha plástica em ilhas, como ocorre em Itamaracá, maior volume de detritos deve ser gerenciado localmente principalmente durante alta temporada (Hoellein *et al.*, 2015). Assim, cria-se uma demanda adicional onde comumente os detritos sólidos já são mal geridos (Guittard *et al.*, 2023) e o resultado é a presença desse lixo entre os dez itens mais coletados em praias (Bergmann *et al.*, 2015; Wilson & Verlis, 2017; Ocean Conservancy Report, 2023) com picos em temporadas de verão (Guittard *et al.*, 2023).

Plásticos de uso único têm grande fluabilidade, são transportados pelo vento e podem ser facilmente levados do continente para o mar (Guerrero-Meseguer *et al.*, 2020) ou trazidos para a areia da praia, especialmente após períodos de chuva forte. Além disso, a presença de itens de uso único nas áreas costeiras foi analisada em diferentes estudos (Simeonova & Chuturkova, 2020; Morales-Caselles *et al.*, 2021; Baxter *et al.*, 2022; Kiessling *et al.*, 2023) destacando a importância de ações e legislação para controlar a produção, uso e gestão de detritos plásticos.

Um grande número de fragmentos de embalagens, fragmentos de rótulos e ainda fragmentos rígidos e flexíveis é consequência da presença de uns itens maiores que umas vezes no ambiente são degradados por processos físico-químicos originando fragmentos menores.

Por outro lado, um alto número de peças relacionadas a restos de materiais de construção também foi identificado no lixo das praias. A origem desse tipo de lixo está ligada ao uso desse material como barreiras de proteção costeira e ainda é resultado do processo erosivo atuante nas praias da Ilha (Gonçalves *et al.*, 2019; Araújo *et al.*, 2021).

Os resultados estatísticos para o total de 2013 itens de lixo não indicaram diferenças no número de itens entre os locais e os meses, apenas na interação entre estação climática e praia, indicando que as praias sofrem efeito da sazonalidade climática em relação à presença do lixo. No verão mais lixo foi contabilizado, supondo então que em períodos de chuva esse material é transportado estando disponível em mar aberto. Além disso, nesse período ocorre diminuição do uso da praia, portanto diminuição de fonte domésticas e turísticas desse lixo.

Esse lixo também foi observado excluindo a categoria de itens relacionados a restos de materiais de construção por supormos que esse tipo de resíduo tem sua origem no continente. Em adição, esse material se distingue dos outros por ter seu transporte limitado apenas à zona de espraiamento enquanto o restante, tem alta mobilidade transitando entre mar aberto e zona costeira. Portanto esses itens classificados como GC01 possuem mobilidade reduzida representando uma categoria de lixo com fonte exclusivamente local, como resultado da erosão costeira da Ilha.

Do mesmo modo que feições costeiras são resultantes de interações entre processos eólicos, transporte de sedimentos e hidrodinâmica costeira (Andriolo & Gonçalves, 2022), intervenções antrópicas nessa área, como construção de casas ou muros, também estão susceptíveis a ação da dinâmica costeira (ondas, correntes, ventos), que resulta na perda de sedimentos a longo prazo e na erosão das praias (Ye Yincan *et al.*, 2017). Essa erosão pode ser completa ou parcial, cobrindo ou expondo detritos. Andriolo e Gonçalves (2022) ressaltam a erosão de dunas expondo lixo marinho composto por sacolas, garrafas, itens ligados a pesca e materiais de construção. O mesmo pode ocorrer com erosão de intervenções antrópicas.

Portanto, a maior ocorrência dos itens GC01 em períodos climáticos mais chuvosos se deve ao efeito intensificado da

hidrodinâmica costeira, com mais ondas, correntes, ventos e chuvas aumentando a instabilidade e desequilíbrio de praias levando à perda de sedimentos, recuo da praia (Anthony, 2018) e exposição das áreas.

Durante esses períodos, correntes de maré, com maior efeito sobre a região do que ondas, estão com mais energia junto a fatores meteorológicos e hidrodinâmicos que combinados intensificam a erosão e disponibilizam ou cobrem os detritos na areia das praias. No presente estudo, a praia do Forte, que tem setores com tendência erosiva (Araújo *et al.*, 2021), foi a praia onde detritos de ligados a restos de construção estavam mais disponíveis na área de coleta. Esses detritos também estavam presentes, em menor quantidade, no Pilar. Assim como o Forte, Pilar também tem áreas visíveis com erosão, que podem ser fonte de materiais ligados a resto de construção presente na praia.

A praia do Forte, com forte ação de corrente de maré devido à presença do Canal de Santa Cruz, assim como todo o estado, recebe maior parte de suas chuvas sazonais durante os meses de o primeiro semestre do ano até agosto. Mudanças nos padrões climáticos globais podem resultar na variabilidade da descarga de água e da dinâmica costeira, no suprimento de sedimentos (Dubí, 2000) e conseqüentemente na deposição ou no encobrimento de detritos relacionados a poluição por lixo marinho.

Foram identificadas diferenças estatísticas significativas para todos os fatores observados (período climático, praia e período:praia), exceto para os diferentes meses de coleta. O período seco se manteve como o período com mais itens de lixo. Sossego se diferenciou das outras praias por não apresentar itens GC01. Essa praia, localizada na foz do rio Jaguaribe, tem o lixo caracterizado por grandes quantidades de detritos plásticos. Esses plásticos são trazidos pelo rio e pelo transporte dos itens flutuantes, que se depositam na praia junto às algas, que está presente em grandes quantidades nessa praia.

O gráfico nMDS destacou dois grupos diferentes baseado nas 3 praias. As amostras do Forte se relacionaram com a velocidade e direção do vento, com a direção da onda e tipo de detrito. O estudo de Burlat e Thorsteinsson (2022) mostrou que a chegada de ventos mais forte marcou uma mudança nas condições climáticas em uma praia no oeste da Islândia, e que aumentos e diminuições rápidas na cobertura de arribadas levaram a diferenças consideráveis no número de lixo plástico registrados de um dia para o outro.

Seguindo o mesmo cenário, na praia do Forte, o mês com mais itens de lixo (setembro), teve registros de velocidades do vento mais intensos do que os meses anteriores. Foi ainda a praia com maior variação de direção do vento (4 direções) e ondas de sudeste. Essas variações de direção e intensidade de ventos e onda resultam nas quantidades de detritos naturais e do lixo depositados sobre as praias.

Além da fonte local para os detritos ligados a itens de vidro e cerâmica, o lixo plástico encontrado no Forte já havia sido descrito por Araújo *et al.* (2018) como resultado da localização da praia, na foz de um estuário, que contribui para a deposição através de ondas e marés. A arribação dessa praia foi composta por detritos de mangue (folhas), presente em todos os meses, exceto em dezembro, caracterizado pela presença de macroalgas. Esses fatores colaboraram para a presença de mais itens de lixo disponíveis na praia, principalmente o lixo classificado como vidro e cerâmica, que não é emaranhado nas folhas arribadas e ficam expostos e disponíveis na areia da praia.

Por outro lado, o lixo encontrado no Pilar pode ter sido influenciado pelo tipo de detrito e pela precipitação. Um grande número de áreas não cobertas, cerca de 61,8% incluídas na categoria 0 (<1% de cobertura), com poucos detritos de algas, podem ter controlado a dinâmica do lixo no Pilar. Do mesmo modo, um mês mais chuvoso em junho influenciou no número de itens coletados. Nessa praia, foi identificado o menor número de itens de lixo em comparação com as outras. Portanto, há evidências de que áreas não cobertas por arribação e a intensificação de chuvas são fatores que controlam a ausência do lixo na areia da praia, tanto pela ausência de usuários e de arribação nesse quanto por um possível transporte dos itens para mar aberto.

O lixo do Sossego foi relacionado com o período da onda, peso de biomassa vegetal e grau de cobertura de detritos. Sossego teve o maior período de onda registrado entre as praias, assim como maior peso de biomassa vegetal e áreas de coleta intensamente cobertas. É possível estabelecer uma relação entre essa praia com maior número de itens de lixo, o peso de biomassa vegetal e período de onda. Isachenko *et al.* (2023) já destacaram em estudo costa norte da Península Sambiana (Mar Báltico), que longos períodos (>6s) e grandes alturas de onda são parâmetros importantes para o aparecimento de material arribado. Grandes quantidades de arribação podem ser responsáveis por prender um maior número itens de lixo plástico bem como ondas com períodos mais longos podem transportar ambos os materiais para a areia da praia.

No geral, a presença do lixo nas praias foi condicionada pelos fatores de composição (grau de cobertura e tipo de detrito) e por duas principais variáveis meteo-oceanográficas: direção do vento e precipitação. A variação dos fatores de composição e das variáveis é relacionada com a sazonalidade climática da região.

Vento, altura das ondas e a precipitação pluviométrica já foram citadas como fatores controladores de arribação por Silva Jr. (2022). Assim como os detritos naturais, todo e qualquer material depositado nas praias, incluindo os detritos antropogênicos, estão suscetíveis às condições meteorológicas e oceanográficas que influenciam a morfodinâmica de cada praia, bem como o tempo de exposição da praia a essas condições.

As maiores quantidades de itens de lixo foram observadas no Sossego, no período com menor registro de precipitação, em concordância com estudos anteriores onde foi encontrada relação entre períodos de verão e a ocorrência de lixo costeiro (Asensio-Montesinos *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2021; Ramos *et al.*, 2021). Além do lixo, maiores quantidade de arribação e consequentemente maior grau de cobertura caracterizaram a praia do Sossego em períodos mais secos. No verão também é comum a ocorrência de arribação nas praias do nordeste. A variabilidade temporal e quantidade de arribação na praia já foi associada em estudos anteriores (Santos *et al.*, 2013; Silva Jr., 2019; 2022).

O mesmo padrão de ocorrência do lixo do Sossego é descrito para o Pilar, entretanto essa praia se caracteriza como uma praia mais urbana, devido à sua localização central na Ilha e por ainda possuir imóveis e bares próximos à área de coleta. Em adição, essa praia também pode estar recebendo o lixo de um canal a cerca de 1,5 km, que tem saída na praia em direção ao norte da Ilha, assim como o rio Jaguaribe, que tem sua foz a 3,7 km do Pilar.

Assim como outras praias urbanas da região (Silva-Cavalcanti *et al.*, 2013; Araújo *et al.*, 2018), no Pilar durante algumas coletas foi observado a presença de serviço público de varrição enquanto em outras ocasiões de amostragem uma grande quantidade lixo também estava presente na área. Essa praia pode ser classificada como uma praia urbana com infraestrutura turística, e consequentemente recebe maior número de usuários do que o Sossego, tendo como resultado a presença de lixo antropogênico (De Veer *et al.*, 2023).

4.3 Interação lixo e arribadas

Quase metade dos itens de lixo coletados no estudo ocorreu em setembro e o mês seguinte foi marcado pelo maior peso da biomassa vegetal. Foi possível verificar uma relação em termos

de proporção. O mês com mais lixo teve menos biomassa vegetal e o mês com maior peso de detrito natural teve menor número de lixo.

Maior peso de biomassa vegetal e de área coberta não significou maiores quantidades de lixo, assim como observado por Haseler *et al.* (2019) em áreas levemente cobertas (5 a 25%), que foram as áreas com maior frequência e maior número de fragmentos de lixo (73 ± 60). No presente estudo esses resultados também foram observados com quase a metade dos itens de lixo presentes nessas áreas, enquanto áreas intensamente cobertas continham 17% do lixo.

Foram identificadas diferenças estatísticas significativas para todos os fatores de análise (estação, praia e interação) entre lixo e biomassa vegetal com exceção dos meses. Essas variações mensais foram pequenas visto que a ocorrência dos detritos naturais possui padrão sazonal e diferenças estatísticas poderiam ser mais expressivas em uma comparação espaço-temporal mais longa para os meses. A ausência de biomassa vegetal nas áreas das praias observadas ao longo dos meses ocorre porque a quantidade de material arribado é pequena e ainda porque esses detritos se degradam ao longo do tempo mais facilmente do que os itens de lixo (Guerrero-Messenger *et al.*, 2020).

Uma correlação positiva fraca foi observada entre o lixo e o peso de biomassa vegetal. Essa ausência de uma correlação forte pode ser explicada pelos picos de produção de cada material. O aumento da produção dos itens de lixo ocorreu no mês de setembro enquanto o das arribadas ocorreu em dezembro. Esse cenário foi definido no ano de 2022 e pode ser variável em uma escala temporal maior. A ausência de arribadas em períodos com maior quantidade de lixo representa ainda uma situação preocupante também pois o lixo presente na praia pode estar emaranhado nos detritos vegetais flutuantes e presente em outros ambientes deposicionais, submerso ou enterrado no continente. De qualquer forma a presença de arribação vegetal faz o lixo ficar no ambiente impedindo que o mesmo seja recolhido.

Por outro lado, cada variável de análise (lixo e biomassa vegetal) apresentou correlações significativas com as variáveis meteo-oceanográficas. Os itens de lixo têm sua distribuição controlada pela velocidade do vento, confirmando que a presença desses detritos nas praias ocorre de forma sazonal quando há inversão dos ventos e correntes no estado (Domingues *et al.*, 2017).

Maiores quantidade biomassa vegetal está relacionada ao período e direção de ondas que ocorrem nas praias e o tipo

de detrito presente nos locais e nos meses observados varia em função das fontes desse material, da proximidade com essa fonte e da configuração da praia. Esses fatores não foram observados no estudo. Em estudos anteriores sobre a relação entre lixo e arribadas (Haseler *et al.*, 2019; Guerrero-Messenger *et al.*, 2020) nenhuma correlação foi observada, corroborando com os resultados observados aqui de que o acúmulo desses detritos é controlado por fatores como diferenças temporais de deposição, comportamento deposicional diferente em cada praia (Guerrero-Messenger *et al.*, 2020) e hidrodinâmica peculiar de cada praia em um complexo sistema costeiro (Haseler *et al.*, 2019).

Assim como nos achados de Navarrete-Fernández *et al.* (2022), na classificação quanto à forma, lixo plástico foi o mais abundante. Itens ocios (30,7%) e sólidos (27,7%) foram dominantes. Os resultados demonstram que embora tenha baixo grau de emaranhamento esses itens estão presentes no meio da arribação principalmente no mês de setembro. São facilmente transportados por serem copos descartáveis, garrafas e fragmentos desses itens. Por outro lado, itens sólidos não são facilmente emaranhados com detritos naturais, mas são encobertos ou se depositam acima da arribação. Itens menos móveis em prados de fanerógamas marinhas reduzem o fluxo de correntes, facilitam a sedimentação e dificultam ressuspensão de partículas (Terrados & Duarte, 2000). Quase que o mesmo efeito pode ser descrito para praias, a presença dos itens sólidos em grandes quantidades pode impedir a remobilização tanto da arribação quanto do sedimento, ainda interferindo no fluxo de volta para o mar e consequentemente afetando a dinâmica costeira natural.

A dinâmica do lixo não flutuante foi delineada ainda por Navarrete-Fernandez *et al.* (2022), demonstrando uma tendência a longo prazo de acumulação no fundo do mar em escala anual e representando um estado de equilíbrio dinâmico. O lixo registrado no verão sem chuvas e ondas intensas representa um cenário equilibrado. O efeito de eventos meteorológicos intensos atua como perturbação, liberando grandes cargas de lixo em curto período, trazendo lixo para a costa, que é arrastado de volta para o mar e enterrado em áreas mais profundas. Essa dinâmica se aplica principalmente na praia do Forte em Itamaracá. Nessa praia estavam presentes grandes quantidades de itens ligados a restos de construção. Embora o transporte desses itens não se estenda a grandes distâncias nessa zona costeira, a longo prazo o fluxo de transporte de sedimentos na praia possui mais um componente que interfere nessa dinâmica.

Os resultados também mostraram formas laminares com grande diversidade, como sacolas plásticas, embalagens de bebidas, cordas, tecidos e balões. A alta mobilidade e alto grau de emaranhamento desses itens facilita o transporte tanto para praias quanto para o escoamento para mar aberto, podendo ainda se fragmentarem e serem depositados em recifes e prados fanerógamas marinhas (González-Ortiz *et al.*, 2014). O resultado desse emaranhamento e do transporte já foi observado em Itamaracá por Souza *et al.* (2024), onde ressaltaram que prados de fanerógamas marinhas retêm micropartículas antropogênicas, principalmente fibras azuis, componentes relacionados à pesca em formato de linha em abundância no mês de setembro e na praia do Sossego.

Os maiores registros de itens emaranhados ocorreram onde as quantidades de arribação também estavam em abundância, como verificado no Sossego. Grandes quantidades de arribação em praias com presença de poluição plástica resultam na “fusão” desses dois componentes através das forçantes meteorológicas que atuam ali, como chuvas, ondas, ventos e marés. Os componentes naturais dessa arribação prendem os itens facilmente emaranháveis, com forma linear e laminar como linhas, tecidos, fragmentos de sacolas e de copos descartáveis.

Esse emaranhamento origina um novo detrito que, quando não transportado para o mar é composto por lixo e macroalgas secas, depositados na areia expostos à ação do tempo acelerando a fragmentação e degradação destes em pedaços menores (Burlat & Thorsteinsson, 2022). Uma preocupação é ressaltada no estudo correlação entre arribação e lixo marinho em uma praia arenosa na Islândia (Burlat & Thorsteinsson, 2022). O curto tempo de soterramento de linhas e cordas resulta em um problema costeiro a longo prazo em zonas pesqueiras. Esse fato também é preocupante nas áreas estudadas onde há atividade de pesca, principalmente no Pilar. No caso do Sossego, pela proximidade com a foz do rio Jaguaribe, a praia tem intensas variações na sua dinâmica com períodos de grandes deposições de arribação e transporte de sedimentos além da ausência de limpeza de praias e coleta de lixo. Portanto essa arribação é exposta por longos períodos aos detritos antropogênicos presentes nessa praia em áreas intensamente cobertas por macroalgas.

5. CONCLUSÕES

Em Itamaracá a sazonalidade climática controla a dinâmica de ocorrência do lixo nas praias, assim como a variação das forçantes hidrodinâmicas. Em períodos chuvosos, a ausência

de maiores quantidades de itens lixo pode ser explicada pelo transporte pelo aumento da descarga hídrica do continente para o oceano. O aumento da descarga de canais e rios pode ser o motor de transporte junto às chuvas, principalmente de itens plásticos que possuam grande mobilidade. Da mesma forma, nos meses de verão, um maior volume de detritos está disponível nas praias através de fontes locais, como resultado do maior consumo de itens de uso único e da falta de gestão adequada desse lixo. Portanto, é importante ressaltar que o gerenciamento dos resíduos sólidos em cidades costeiras controlará o fluxo entre continente e oceano durante todo o ano, resultando no controle dos impactos econômicos, ambientais e sociais da poluição por lixo nas praias de Itamaracá.

Em relação à arribação nas praias, a deposição do material caracteriza os ambientes costeiros de relevância ambiental presentes na ilha. A presença de maiores quantidades de arribação e biomassa vegetal é resultado da localização da praia e dos ambientes ao redor que a compõem, como rios, manguezais e recifes. Menores quantidades de arribação em período chuvoso, com ventos mais intensos, podem ser resultado também do aumento do fluxo de descarga hídrica, que impede essa deposição na praia, transporta e estoca esses detritos em outros ambientes, visto que esse material pode ser composto por folhas e vegetação de restinga com alta fluabilidade. Além disso, deve-se atentar para os períodos de crescimento e reprodução de macroalgas que também compõem grande parte da arribação, já que no verão uma maior diversidade de macroalgas é depositada nas praias. Nesse cenário, uma arribação composta tanto por folhas, vegetação de restinga ou macroalgas deve ser entendida como importante componente do sistema costeiro a partir da sua dinâmica sazonal de deposição.

O padrão de deposição de arribadas não é um padrão para o lixo das praias, portanto não foi verificada correlação positiva forte entre a quantidade de biomassa e os itens de lixo. Maiores quantidades de biomassa vegetal e áreas cobertas não significam maiores quantidades de lixo. Dessa forma, áreas cobertas não influenciam a presença desses detritos que estarão presentes tanto em áreas cobertas quanto em áreas expostas. No entanto, uma praia com intensa cobertura pode esconder o lixo presente ali. Uma fraca correlação foi observada entre lixo e biomassa vegetal. Ambos são controlados pela variação sazonal de variáveis meteo-oceanográficas como intensidade do vento, período e direção de ondas. Além disso o padrão de deposição da biomassa vegetal vai depender do tipo de detrito da arribação.

A forma dos itens de lixo influencia o grau de emaranhamento com a arribação assim como a formação de emaranhados. Embora itens ocultos tenham baixo grau de emaranhamento, fragmentos de garrafas e copos são facilmente transportados e se prendem à arribação junto a itens laminares como linhas, cordas e tecidos dando origem aos emaranhados. Esse novo item representa um componente preocupante porque se mantém no ambiente após ser degradado sendo incorporado no ambiente como um poluente praticamente invisível. O mesmo ocorre com itens sólidos que se acumulam ao longo da costa da ilha e interferem na dinâmica sedimentar das praias sendo incorporadas no fluxo costeiro de detritos.

A presença dos detritos com alto ou baixo grau de emaranhamento nas praias da Ilha de Itamaracá reflete a falta de medidas de mitigação da poluição causada por várias formas de lixo marinho. Grandes quantidades de itens de uso único nas 3 praias, principalmente no verão, é resultado da necessidade do controle de produção global, uso e descarte correto desse material. É importante ressaltar ainda que o uso da ilha pelo setor turístico sem uma preparação e gestão adequada para aumento de demandas ambientais resulta na presença desse lixo nas praias e perda da sua qualidade como ecossistema costeiro. A presença de materiais ligados a restos de construção reflete a problemática histórica da Ilha com ocupação costeira desordenada e tentativas de mitigação da erosão dessas intervenções antropogênicas. Os resultados apresentados neste estudo demonstram que a prevenção da poluição e as mudanças dos atuais padrões das praias passam por demandas de gestão ambiental no intuito de preservar e fazer uso sustentável tanto da praia quanto dos seus componentes como as arribadas.

REFERÊNCIAS

- Almeida, T.L.M. (2011). Sedimentologia e batimetria da plataforma interna adjacente a Ilha de Itamaracá - PE. Dissertação de Mestrado - Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 94.
- Almeida, T.L.M. (2018). CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA COSTEIRA DE ITAMARACÁ: APLICAÇÃO DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA DO BRASIL. Tese de Doutorado. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 172.
- Andriolo, U., & Gonçalves, G. (2022). Is coastal erosion a source of marine litter pollution? Evidence of coastal dunes being a reservoir of plastics. *Marine Pollution Bulletin*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113307>

- Anthony, E. J. (2019). Beach Erosion. pp. 234-246. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93806-6_33
- Araújo, R., Pereira, P., Lino, A., Araújo, T., & Gonçalves, R. (2021). Morphodynamic study of sandy beaches in a tropical tidal inlet using RPAS. *Marine Geology*, 438, 106540. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106540>
- Araújo, R.J.V. (2022). Dinâmica costeira e processos erosivos: Alternativas de controle para o pontal sul da Ilha de Itamaracá – PE, BRASIL. Tese de Doutorado - Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 146.
- Asensio-Montesinos, F., Anfuso, G., Aguilar-Torrel, M. T., Ramírez, M. O. (2021). Abundance and Temporal Distribution of Beach Litter on the Coast of Ceuta (North Africa, Gibraltar Strait). *Water*, 13(19), 2739. <https://doi.org/10.3390/w13192739>
- Assunção, R.V. (2017). Variabilidade sazonal da dinâmica oceânica na região do mar de dentro do Arquipélago de Fernando de Noronha, PE. Dissertação de Mestrado. Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 101.
- Barros, N.C.G. (2013). Algas marinhas bentônicas como bioindicadoras da qualidade ambiental em área recifal de Tamandaré, Pernambuco, Brasil. Tese de Doutorado. Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 118.
- Baxter, L., Lucas, Z., Walker, T. R. (2022). Evaluating Canada's single-use plastic mitigation policies via brand audit and beach cleanup data to reduce plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 176, 113460. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113460. Burlat, L., Thorsteinsson, T. 2022. Seasonal variation in the correlation between beach wrack and marine litter on a sandy beach in West Iceland. *Marine Pollution Bulletin*, 183, 114072. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114072>
- Bergmann, M., Gutow, L., and Klages, M. (2015). *Marine anthropogenic litter*. Springer International Publishing, 447.
- Bezerra, C. S. (2013). Clima de Ondas e Correntes no Litoral de Boa Viagem (Recife – Pe): Aplicação do Sistema de Radar Náutico de Banda-X. Dissertação de Mestrado. Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 99.
- Burlat, L., & Thorsteinsson, T. (2022). Seasonal variation in the correlation between beach wrack and marine litter on a sandy beach in West Iceland. *Marine Pollution Bulletin*, 183, 114072. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114072>
- Cavalcante, D., Xavier, M., Costa, M., Guedes, É. (2012). Avaliação do conhecimento sobre algas marinhas pelos frequentadores de uma praia do nordeste brasileiro. *Revista Ouricuri*, Paulo Afonso, v. 2, n. 2, p. 39-53.
- Cavalcanti, M. I. L. G. (2021). Macroalgas arribadas da costa brasileira: biodiversidade e potencial de aproveitamento. São Paulo, 2021. Tese de doutorado – Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente.
- Cucco, A., Quattrocchi, G., Brambilla, W., Navone, A., Panzalis, P., & Simeone, S. (2020). The management of the beach-cast seagrass wracks-A numerical modelling approach. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(11), 1-27. <https://doi.org/10.3390/jmse8110873>
- Chubarenko, B., Woelfel, J., Hofmann, J., Aldag, S., Beldowski, J., Burlakovs, J., Garrels, T., Gorbunova, J., Guizani, S., Kupczyk, A., Kotwicki, L., Domnin, D., Gajewska, M., Hogland, W., Kotecka, K., Nielsen, J., Schubert, H. (2021). Converting beach wrack into a resource as a challenge for the Baltic Sea (an overview). *Ocean & Coastal Management*, 200, 105413. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105413>
- CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente (2010). Serviço para a implantação da área de proteção ambiental APA – Santa Cruz, Pernambuco. Zoneamento ambiental da área de proteção ambiental - APA Santa Cruz – Itapissuma, Itamaracá e Goiana, PE. Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Recife, setembro 2010. 91p. http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/zoneamentosantacruz;2243;20120906.pdf
- De Veer, D., Baeza-Álvarez, J., Bolaños, S., Cavour Araya, S., et al. (2023). Citizen scientists study beach litter along 12,000 km of the East Pacific coast: A baseline for the International Plastic Treaty. *Marine Pollution Bulletin*, 196, 115481. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115481>
- Domingues, E. de C., Schettini, C. A. F., Truccolo, E. C., & Oliveira Filho, J. C. de. (2017). Hidrografia e correntes da Plataforma Continental de Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 22. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217170027>
- Dubi, A., (2000). Tanzania Coastal Management Partnership. The Present State of Knowledge of Marine Science in Tanzania: Synthesis Report. Chapter 1 - Coastal Erosion. p. 11(183).
- Ferreira, G.S., Brito, P.O.B, Aderaldo, F.I.C., Carneiro, P.B.M., Rocha, A.M., Gondim, F.A. (2020). Algas arribadas da Praia do Pacheco, Ceará, Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 15(2)
- Gonçalves, R. M., Saleem, A., Queiroz, H. A. A., & Awange, J. L. (2019). A fuzzy model integrating shoreline changes, NDVI and settlement influences for coastal zone human impact classification. *Applied Geography*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102093>
- González-Ortiz, V., Egea, L. G., Jiménez-Ramos, R., Moreno-Marín, F., Pérez-Lloréns, J. L., Bouma, T. J., & Brun, F. G. (2014). Interactions between Seagrass Complexity, Hydrodynamic Flow and Biomixing Alter Food Availability for Associated Filter-Feeding Organisms. *PLOS ONE*, 9(8), e104949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104949>
- Gower, J. F. R., King, S. A. (2011). Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS. *International Journal of Remote Sensing*, 32(7), 1917-1929. ISSN 0143-1161. <https://doi.org/10.1080/01431161003639660>

- Grillo, A. C., & Mello, T. J. (2021). Marine debris in the Fernando de Noronha Archipelago, a remote oceanic marine protected area in tropical SW Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112021>
- Guerrero-Meseguer, L., Veiga, P., Rubal. (2020). Spatio-Temporal Variability of Anthropogenic and Natural Wrack Accumulations along the Driftline: Marine Litter Overcomes Wrack in the Northern Sandy Beaches of Portugal. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(12), 966. <https://doi.org/10.3390/jmse8120966>
- Guittard, A., Akinsete, E., Demian, E., Koundouri, P., Papadaki, L., & Tombrou, X. (2023). Tackling Single-Use-Plastic in small touristic islands to reduce marine litter: co-identifying the best mix of policy interventions. *Frontiers in Environmental Economics*, 2. <https://doi.org/10.3389/frevc.2023.1145640>
- Haseler, M., Weder, C., Buschbeck, L., Wesnigk, S., & Schernewski, G. (2019). Cost-effective monitoring of large micro- and meso-litter in tidal and flood accumulation zones at south-western Baltic Sea beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110544. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110544>
- Herrero, J. J., Simes, D. C., Abecasis, R., Relvas, P., Garel, E., Ventura Martins, P., & Santos, R. (2023). Monitoring invasive macroalgae in southern Portugal: drivers and citizen science contribution. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1324600>
- Hidalgo-Ruz, V., & Thiel, M. (2013). Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Marine Environmental Research*, 87-88, 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015>
- Hoellein, T. J., Westhoven, M., Lyandres, O., and Cross, J. (2015). Abundance and environmental drivers of anthropogenic litter on 5 Lake Michigan beaches: a study facilitated by citizen science data collection. *J. Great Lakes Res.* 41, 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.12.015>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama das cidades do Brasil. (2024) <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/ilha-de-itamaraca/panorama>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama das cidades do Brasil. (2022) <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/ilha-de-itamaraca/panorama>
- IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional /Programa Monumenta, (2010). Rotas do Patrimônio. Itamaracá - Forte Orange. Edição 2010. Publicação Iphan/Programa Monumenta/Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). 16p. http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/5_rota_patrimonio_forte_orange_itamaraca_pe.pdf
- Isachenko, I., Esiukova, E., Chubarenko, I. (2023). Beach-cast appearance on the tide-less seashore: Parameters of favoring surface waves. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 108219. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108219>
- 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(6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kiessling, T., Hinzmann, M., Mederake, L., Dittmann, S., Brennecke, D., Böhm-Beck, M., Knickmeier, K., Thiel, M. (2023). What potential does the EU Single-Use Plastics Directive have for reducing plastic pollution at coastlines and riversides? An evaluation based on citizen science data. *Waste Management*, 164, 106-118. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.042>
- Leitao, S.S., Barbosa, J.M., Carraro, F.G.P. (2007). CARACTERIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA ILHA DE ITAMARACÁ, PERNAMBUCO. *Rev. Bras. Enga. Pesca* 2[2].
- Lima, J., Gonçalves, R., & Schmidt, M. (2017). Avaliação da Eficácia do Gerenciamento Costeiro Integrado Utilizando Ahp (Analytic Hierachy Process) para a Ilha de Itamaracá, Pernambuco - Brasil. *Revista Geociências*, v. 36 n. 4. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i4.12020>
- Marengo, J. A., Alcantara, E., Cunha, A. P., Seluchi, M., Nobre, C. A., Dolif, G., Goncalves, D., Assis Dias, M., Cuartas, L. A., Bender, F., Ramos, A. M., Mantovani, J. R., Alvalá, R. C., & Moraes, O. L. (2023). Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. *Weather and Climate Extremes*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100545>
- Macêdo, S. J., Muniz, K., Montes, M.J.F., (2004). Hidrologia da região costeira e plataforma continental do estado de Pernambuco. In: Eskinazi Leça, E.; Neumann Leitão, S. & Costa, M. F. orgs. *Oceanografia: um cenário tropical*. Recife, Bagaço. p.255-286.
- Martins, M., Sousa, F., Soares, C., Sousa, B., Pereira, R., Rubal, M., & Fidalgo, F. (2024). Beach wrack: Discussing ecological roles, risks, and sustainable bioenergy and agricultural applications. *Journal of Environmental Management*, 356, 120526. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120526>
- Medeiros, C., & Kjerfve, B. (1993). Hydrology of a Tropical Estuarine System: Itamaracá, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 36, 495-515. <https://doi.org/10.1006/ecss.1993.1030>
- Medeiros C, Kjerfve B, Araujo M, Neumann-Leitão S (2001) The Itamaracá estuarine ecosystem, Brazil. In: Seeliger U, Kjerfve B (eds) *Coastal marine ecosystem of Latin America. Ecological studies*, Vol 144. Springer-Verlag, Berlin, p 71-81. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04482-7_6
- Melo, M., Barcellos, R., Oliveira, L., & Manso, V. (2019). ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS E BATIMÉTRICOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL

- NORTE DE PERNAMBUCO - BRASIL. Estudos Geológicos, 29, 17-30. <https://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v29n2p17-30>
- Monteiro, R. C. P., Ivar do Sul, J. A., & Costa, M. F. (2018). Plastic pollution in islands of the Atlantic Ocean. In Environmental Pollution, 238,103-110. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.096>
- Morales-Caselles, C., Viejo, J., Martí, E. *et al.* (2021). An inshore-offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. Nat Sustain 4, 484-493. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00720-8>
- Navarrete-Fernández, T., Bermejo, R., Hernández, I., Deidun, A., Andreu-Cazenave, M., & Cózar, A. (2022). The role of seagrass meadows in the coastal trapping of litter. Marine Pollution Bulletin, 174, 113299. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113299>
- Ocean Conservancy. (2023). Annual Report, Ocean Conservancy's International Coastal Cleanup. 34p. https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2021/09/Annual-Report_FINAL_Digital.pdf
- Orr, M., Zimmer, M., Jelinski, D. E., & Mews, M. (2005). Wrack deposition on different beach types: Spatial and temporal variation in the pattern of subsidy. Ecology, 86(6), 1496- 1507. <https://doi.org/10.1890/04-1486>
- Pitanga, M. E., Montes, M. J. F., Magalhães, K. M., & Reis, T. N. V. (2012). Quantification and classification of the main environmental impacts on a Halodule wrightii seagrass meadow on a tropical island in northeastern Brazil. An Acad Bras Cienc, 84(1), 35-42. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012000100005>
- Pfuetzenreuter, A., Vieira, C. V. (2022). Avaliação do lixo marinho nas praias do norte da ilha de São Francisco do Sul, SC. Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology, 8(1): 04-13, ISSN: 2447-0740.
- Ramos, B. de, & Costa, M. F. da. (2023). BeachLog: A multiple uses and interactive beach picture. Marine Pollution Bulletin, 193, 115156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115156>
- Ramos, B., Costa, M. F., & Lima, T. M. de. (2024). What lies underneath: Comparison among beach litter in the underwater bathing area and exposed beach. Science of The Total Environment, 947, 174661. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174661>
- R Core Team. (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Ribeiro, V. V., Pinto, M. A. S., Mesquita, R. K. B., Moreira, L. B., Costa, M. F., & Castro, Í. B. (2021). Marine litter on a highly urbanized beach at Southeast Brazil: A contribution to the development of litter monitoring programs. Marine Pollution Bulletin, 163, 111978. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111978>
- Ruiz-Delgado, M.C., Reyes-Martínez, M.J., Sánchez-Moyano, J.E., Lopez-Pérez, J., García-García, F.J. (2015). Distribution patterns of supralittoral arthropods: wrack deposits as a source of food and refuge on exposed sandy beaches (SW Spain). Hydrobiologia 742, 205-219. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120526>
- Ryan, P.G. (2015). A Brief History of Marine Litter Research. In: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (eds) Marine Anthropogenic Litter. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_1
- Santos, G. do N., Nascimento, O. S. do, Pedreira, F. dos A., Ríos, G. I., Vasconcelos, J. N. C., and Nunes, J. M. de C. (2013). Análise quali-quantitativa das algas arribadas do norte do Estado da Bahia, Brasil. Qualitative and quantitative analysis of arribadas algae North of Bahia State, Brazil. Acta Botanica Malacitana, 38, 13-24. <https://doi.org/10.24310/abm.v38i0.2647>
- Santos, S. P., Rodrigues, F. L., Santos, A. C. de A., & Moraes, L. E. (2024). Spatial and temporal patterns of floating litter in shallow habitats: Insights from high-tourism tropical areas in Northeastern Brazil. Regional Studies in Marine Science, 78. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103782>
- Silva-Cavalcanti, J. S., Araujo, M. C. B., & Costa, M. F. (2013). Padrões e tendências a médio prazo da contaminação por resíduos sólidos na praia de Boa Viagem, Nordeste do Brasil. Quaternary and Environmental Geosciences, 4(1-2). <https://doi.org/10.5380/abequa.v4i1-2.25691>
- Silva, D. (2010). Estudo do processo adsorvivo de cádmio por Algas Arribadas. Recife, 2010. Dissertação de Mestrado - Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 55
- Silva Jr., C. P. (2019). Dinâmica sazonal e influência das marés na ocorrência de algas arribadas em praia urbana de Pernambuco. Trabalho de conclusão de curso em Ciências Biológicas, Recife, PE: Faculdade Frassinetti do Recife.
- Silva Jr., C. P. (2022). Influência dos fatores meteorocinográficos na composição e biomassa de algas arribadas em duas praias de Pernambuco. Dissertação de mestrado. Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 59.
- Simeonova, A., Chuturkova, R. (2020). Macroplastic distribution (Single-use plastics and some Fishing gear) from the northern to the southern Bulgarian Black Sea coast. Regional Studies in Marine Science, 37, 101329. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101329>
- Sissini, M., Barros-Barreto, M. B., Széchy, M., Lucena, M., Oliveira, M., Gower, J., Liu, G., De Oliveira Bastos, E., Milstein, D., Gusmão, F., Martinelli-Filho, J., Alves-Lima, C., Colepico, P., Ameka, G., Johnson, K., Gouvea, L., Silva, B., Nauer, F., Nunes, J. M., Horta, P. (2017). The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean - Likely scenarios. Phycologia, 56. <https://doi.org/10.2216/16-92.1>

- Souza, A. M. C., Ferreira, G. V. B., de los Santos, C. B., Frédou, F. L., & Magalhães, K. M. (2024). Anthropogenic microparticles accumulation in small-bodied seagrass meadows: The case of tropical estuarine species in Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 207, 116799. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116799>
- Suursaar, Ü., Torn, K., Martin, G., Herkül, K., & Kullas, T. (2014). Formation and species composition of stormcast beach wrack in the Gulf of Riga, Baltic Sea. *Oceanologia*, 56(4), 673–695. <https://doi.org/https://doi.org/10.5697/oc.56-4.673>
- Széchy, M., Guedes, P., Baeta-Neves, M., & Oliveira, E. (2012). Verification of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from the Sargasso Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. *Check List*, 8, 638–641. <https://doi.org/10.15560/8.4.638>
- Terrados, J., & Duarte, C. M. (2000). Experimental evidence of reduced particle resuspension within a seagrass (*Posidonia oceanica* L.) meadow. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* (Vol. 243). [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(99\)00110-0](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(99)00110-0)
- UNEP - United Nations Environment Programme. (2009). *Marine litter: A Global Challenge*. Nairobi: UNEP. 232 p. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/marine-litter-global-challenge>
- UNEP - United Nations Environment Programme. (2018). *SINGLE-USE PLASTICS: A Roadmap for Sustainability* (Rev. ed., pp. vi; 6). <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>
- Vasconcelos, E.R.T.P.P., Vasconcelos, J.B., Reis, T.N.d. *et al.* (2019). Macroalgal responses to coastal urbanization: relative abundance of indicator species. *J Appl Phycol* 31, 893–903. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1639-3>
- Veimrober Júnior, L.A.A. (2010). *Utilização da macroalga Sargassum sp. como adsorvente natural no controle de poluição por cobre em meio aquoso*. Dissertação de Mestrado - Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p. 80.
- Wang, M., Hu, C. (2016). Mapping and Quantifying *Sargassum* Distribution and Coverage in the Central West Atlantic Using MODIS Observations. *Remote Sensing of Environment*, 183, 350–367. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.019>
- Wilson, S. P., e Verlis, K. M. (2017). The ugly face of tourism: marine debris pollution linked to visitation in the southern great barrier reef. Australia. *Mar. Pollut. Bull.* 117, 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.036>
- Yincan *et al*, Y. (2017). Chapter 7 - Coastal Erosion (Y. B. T.-M. G.-H. in C. Yincan *et al*, Ed.; pp. 269–296). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812726-1.00007-3>
- Yonehara, S., & Kawasaki, A. (2020). Assessment of the tidal effect on flood inundation in a low-lying river basin under composite future scenarios. *Journal of Flood Risk Management*, 13(3). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12606>

