



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

CLEDSON PEDRO DA SILVA JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DOS FATORES METEOCEANOGRÁFICOS NA COMPOSIÇÃO
E BIOMASSA DE ALGAS ARRIBADAS EM DUAS PRAIAS DE
PERNAMBUCO**

Recife

2022

CLEDSON PEDRO DA SILVA JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DOS FATORES METEOCEANOGRÁFICOS NA COMPOSIÇÃO
E BIOMASSA DE ALGAS ARRIBADAS EM DUAS PRAIAS DE
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGO-UFPE), como parte dos requisitos para a obtenção de título de Mestre em Oceanografia.

Área de Concentração: Oceanografia Biológica

Orientadora: Prof. Dra. Mutue Toyota Fujii

Coorientador: Dr. Edson Régis Tavares Pessoa Pinho de Vasconcelos

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz CRB-4 / 2222

- S586i Silva Júnior, Cledson Pedro da.
Influência dos fatores meteoceanográficos na composição e biomassa de algas arribadas em duas praias de Pernambuco / Cledson Pedro da Silva Junior. 2022.
57 f: figs., tabs.
- Orientadora: Profa. Dra. Mutue Toyota Fujii.
Coorientador: Prof. Dr. Edson Régis Tavares Pessoa P. de Vasconcelos.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Recife, 2022.
Inclui referências.
1. Oceanografia. 2. Macroalga. 3. Bloom. 4. Bryopsis. 5. PAR. 6. Sargaço. I. Fujii, Mutue Toyota (Orientadora). II. Vasconcelos, Edson Régis Tavares Pessoa P. de (Coorientador). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG / 2022 - 405

CLEDSON PEDRO DA SILVA JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DOS FATORES METEOCEANOGRÁFICOS NA COMPOSIÇÃO
E BIOMASSA DE ALGAS ARRIBADAS EM DUAS PRAIAS DE
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Aprovada em: 25/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Mutue Toyota Fujii (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Marcos de Castro Nunes (Examinador Externo)
Universidade Federal da Bahia

Profa. Dr. George Emmanuel Cavalcanti de Miranda (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Thiago Holanda Basílio (Examinador Externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

Profa. Dra. Beatrice Padovani Ferreira (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha família, Hosana, Cledson e Phietra, por todo amor, apoio e incentivo para que eu continuasse fazendo o que gosto, sempre colocando a nossa educação como prioridade independente de qualquer coisa. Serei eternamente grato por todo esse suporte e minha missão sempre será deixar vocês orgulhosos do filho e do profissional que estou me tornando. E de certo modo, todos vocês são um pouco autores desse trabalho, todas as coletas nas praias que vocês participaram, todo o planejamento no meio da pandemia para fazer isso comigo, sem esse esforço esse trabalho não seria o mesmo, amo vocês.

Ao meu namorado Walter, pelos momentos de conversa, sejam elas dos bons momentos e dos ruins, sempre estive ao meu lado, me animando, sempre me mostrando que tudo ia dar certo independente das situações, e deu. Obrigado por sempre acreditar em mim.

À minha orientadora, professora Mutue Toyota Fujii, por me aceitar como seu último aluno do PPGO-UFPE, e que independente da orientação a distância, sempre estive presente quando precisei, e com seus comentários sempre engrandecendo nos resultados da nossa pesquisa. Foi uma honra e um prazer, espero por trabalhar com você em outros momentos.

Ao meu coorientador, Dr. Edson Vasconcelos, por todos os momentos de aprendizado, confiança, suporte e disponibilidade de estar comigo, seja em campo ou no laboratório, para conversar, debater e sempre enriquecer nossa pesquisa, seja essa ou outras, como foi durante a minha monografia. Agradeço por ter me acolhido lá em 2018 e por nossa parceria até então, que seja longa e de muitos bons frutos.

Ao Laboratório de Macroalgas Marinhas da UFPE por ser minha casa desde a graduação. À Dra. Adilma Cocentino, pelas conversas, risadas, e dos inúmeros aprendizados que só se conseguem tendo alguém como você por perto, obrigado. À Dra. Juliane Bernardi, pela disponibilidade de estar em campo comigo e Edson em diferentes momentos durante esses últimos dois anos.

Aos amigos que fiz durante esse mestrado, tanto do LECOR quanto do LAGEP, especialmente Cinthya Lima, acredito que sem você esse processo teria sido completamente diferente, ao menos como aluno, obrigado por compartilhar comigo esse momento e ensinamentos, aprendi a fazer mapa contigo. E obrigado pelas viagens de barco pelo Rio Formoso e Rio Timbó.

Aos meus amigos da vida, Aryane, Barbara, Claudio, Daniel, Gil, Victor e outros, sem pessoas como vocês a vida não seria tão divertida, obrigado pelas conversas, viagens e abraços.

Sem apoio financeiro de órgãos de fomento como CNPq e de programas de pesquisa nenhuma pesquisa de pós-graduação no Brasil seria possível. Agradeço ao CNPq pela bolsa de estudo e pelo financiamento do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração – Tamandaré Sustentável por todo apoio financeiro para desenvolver as coletas que foram realizadas em ambas as praias. E ao CEPENE - ICMBio pelas estadias para longos dias de coleta.

RESUMO

Algas arribadas ocorrem como eventos naturais de origem dinâmica, e suas causas podem estar associadas a diferentes fatores meteoceanográficos ou relacionadas aos impactos ambientais de origem antrópica. Este estudo teve como objetivo analisar a influência dos diferentes fatores meteoceanográficos, tais como ventos, ondas, pluviosidade, radiação solar e nutrientes, na composição e biomassa de algas arribadas, nas praias de Candeias e Tamandaré, litoral de Pernambuco - Brasil. Foram realizadas 6 campanhas em cada praia entre os anos de 2020 e 2021, durante o período seco e chuvoso. Para as coletas de dados biológicos foram utilizados 9 transectos de 10m, com três quadrados de 25x25cm cada, totalizando 27 amostras por campanha em 1 km de extensão de cada praia. Para análise da qualidade da água foram coletadas três amostras de 500 mL de água do mar por campanha em áreas adjacentes aos pontos amostrados. Os dados de vento, onda e irradiação solar foram coletados em base de dados da NOAA, e os dados de pluviosidade foram obtidos na Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC). Dentre as macroalgas coletadas, foram identificados 41 gêneros, sendo 23 Rhodophyta, 11 Chlorophyta e 8 Ochrophyta, distribuídas em 22 ordens. Oito gêneros ocorreram exclusivamente em Tamandaré e 3, em Candeias. Ochrophyta foi o principal filo em termos de biomassa, seguido de Chlorophyta e Rhodophyta. Em Candeias, a biomassa das algas verdes foi superior às de pardas e vermelhas enquanto em Tamandaré, algas pardas. Dos 41 gêneros, 13 foram responsáveis por 95% do total da biomassa coletada, sendo *Bryopsis* (29,6%) e *Dictyopteris* (26,7%), os principais. Foi identificada uma floração de *Bryopsis* em Candeias, que alterou significativamente a biomassa para a região. As estações do ano influenciaram a biomassa em Candeias, sendo maior no período seco. Ao contrário, em Tamandaré, o ambiente é mais homogêneo, não havendo diferença significativa entre as estações. Foram detectados valores de nutrientes (fosfato, nitrito e nitrato) elevados em Candeias, caracterizando a região, como ambiente eutrofizado. Em Tamandaré, os valores de nutrientes foram baixos e não apresentaram diferenças entre as estações. As algas arribadas em Candeias apresentaram maior correlação com os fatores químicos e radiação fotossinteticamente ativa, corroborando com os resultados obtidos para biomassa, com a dominância de *Bryopsis*, e das algas vermelhas *Gracilaria*, *Chondracanthus* e *Hypnea*, que são bioindicadoras de ambientes eutrofizados. Por outro lado, as algas arribadas em Tamandaré responderam melhor aos fatores físicos mecânicos, como ondas e vento. Foi possível aferir como os fatores ambientais e atividade humana podem alterar e influenciar a composição das algas arribadas. Praias mais preservadas apresentaram uma composição de algas arribadas mais homogênea, prevenindo a ocorrência de florações.

Palavras-chave: macroalga; bloom; *Bryopsis*; PAR; sargaço.

ABSTRACT

Beach-cast occur as natural events of dynamic origin, and their causes may be associated with different meteoceanographic factors or related to anthropogenic impacts. The aim of this study was to analyze the influence of different meteoceanographic factors, such as winds, waves, rain, photosynthetic active radiation (PAR) and nutrients, on the composition and biomass of beach-cast seaweed from Candeias and Tamandaré beaches, south coast of Pernambuco - Brazil. Six campaigns were carried out on each beach between 2020 and 2021, during the dry and rainy season. For the biological data, 10 meters transects and 25x25cm squares were used, where 9 replicates were performed per campaign in 1 km of beach. For water quality analysis, 1.5 L were collected per campaign in areas near to the reefs. Wind, wave and PAR data were acquired from NOAA database, and rainfall data were obtained from the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC). 41 genera were identified, 23 Rhodophyta, 11 Chlorophyta and 8 Ochrophyta, distributed in 22 orders. Eight genera occurred exclusively in Tamandaré and 3 in Candeias. Ochrophyta was the main phylum in terms of biomass, followed by Chlorophyta and Rhodophyta. In Candeias, green algae had the highest biomass value, while in Tamandaré it was predominantly formed by brown algae. Of the 41 genera, 13 of them comprised 95% of the total biomass, *Bryopsis* (29.6%) and *Dictyopteris* (26.7%) were the main ones. A bloom of *Bryopsis* was detected in Candeias, which significantly altered the biomass for the region. The seasons of the year influenced the biomass in Candeias, being higher in the dry season. While in Tamandaré, the environment presented a more homogeneous characteristics, with no significant difference between the seasons. High values of phosphate, nitrite and nitrate nutrients were detected in Candeias, highlighting the characteristics of a more urbanized and impacted beach. In Tamandaré, nutrient values were low and showed no differences between the seasons. The beach-cast seaweed on Candeias showed a higher correlation with chemical factors and PAR, reinforcing the results obtained for biomass, where the dominance of *Bryopsis* and the red algae *Gracilaria*, *Chondracanthus* and *Hypnea*, which are classified as opportunistic macroalgae and bioindicators of polluted environments. Contrastingly, the beach-cast on Tamandaré beach had a higher correlation with mechanical forces, such as waves and wind. It was possible to assess how environmental factors and human activity can change and influence the composition and biomass of beach-cast seaweed. Beaches inserted in marine protected areas can present a more homogeneous composition of beach-cast throughout different seasons and can be important actors in preventing the occurrence of green and red tides.

Keywords: macroalgae; bloom; *Bryopsis*; PAR; storm cast.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa da área de estudo.....	17
Figura 2 –	Precipitação histórica mensal (1995-2021) e acúmulo mensal dos meses de coleta dos anos 2020 e 2021 nos municípios de Tamandaré e Jaboatão dos Guararapes – PE.....	18
Figura 3 –	Método de coleta utilizando transecto de 10 metros.....	19
Figura 4 –	Gêneros do filo Ochrophyta encontrados nas algas arribadas das praias de Candeias e Tamandaré – PE durante o período chuvoso e seco dos anos de 2020 e 2021.....	24
Figura 5 –	Gêneros do filo Chlorophyta encontrados nas algas arribadas das praias de Candeias e Tamandaré – PE durante o período chuvoso e seco dos anos de 2020 e 2021.....	26
Figura 6 –	Gêneros do filo Rhodophyta encontrados nas praias de Candeias e Tamandaré – PE durante o período chuvoso e seco dos anos de 2020 e 2021.....	27
Figura 7 –	Descritores ecológicos de diversidade de Shannon (a, b), riqueza (c, d) e equitabilidade de Pielou (e, f) para as amostras de algas arribadas com influência dos fatores espacial (praia) e sazonal (estação).....	31
Figura 8 –	Soma total da biomassa (g) dos filios Chlorophyta, Ochrophyta e Rhodophyta e nas praias de Candeias e Tamandaré (PE). Rótulos representam o total dos gêneros por filo e ocorrência para cada praia.....	32
Figura 9 –	Biomassa total (g) das macroalgas arribadas por estação chuvosa e seca nas praias de Candeias e Tamandaré – PE.....	33
Figura 10 –	Praia de Candeias durante a coleta de março de 2020.....	33
Figura 11 –	Distribuição da biomassa (g) do gênero <i>Bryopsis</i> nas praias de Candeias e Tamandaré – PE nas estações chuvosa e seca.....	34
Figura 12 –	Distribuição parcial da biomassa sem os valores do gênero <i>Bryopsis</i> para as estações chuvosa e seca nas praias de Candeias e Tamandaré – PE.....	35
Figura 13 –	Distribuição dos dados de biomassa (g) parcial sem <i>Bryopsis</i> , soma individual total por gênero e soma dos 28 gêneros com	

	biomassa menor que 1% da biomassa total por estação chuvosa e seca na praia de Candeias - PE.....	36
Figura 14 –	Distribuição dos dados de biomassa (g) parcial sem Bryopsis, soma individual total por gênero e soma dos 28 gêneros com biomassa menor que 1% da biomassa total por estação chuvosa e seca na praia de Tamandaré - PE.....	38
Figura 15 –	Análise de Correspondência Canônica (CCA) da biomassa das algas arribadas em função dos fatores meteoceanográficos nas praias de Candeias (C) e Tamandaré (T).....	42
Figura 16 –	Análise de Correspondência Canônica (CCA) dos 41 gêneros das algas arribadas em função dos fatores meteoceanográficos nas praias de Candeias e Tamandaré (T).....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Lista dos gêneros de macroalgas dos filos Ochrophyta, Rhodophyta e Chlorophyta identificados nas praias de Candeias (PC) e Tamandaré (PT) durante as estações seca (S) e chuvosa (C) no período de 2020-2021.....	22
Tabela 2 –	Valores médios dos nutrientes fosfato (PO ₄ ³⁻), nitrito (NO ₂ ⁻) e nitrato (NO ₃ ⁻) em µmol/L de acordo com as estações chuvosa e seca nas praias de Candeias e Tamandaré.....	39
Tabela 3 –	Resultado das comparações entre as concentrações de nutrientes nas praias de Candeias (C) e Tamandaré (T) e as estações seca (s) e chuvosa (c).....	39
Tabela 4 –	Resultado da correlação de Pearson com os fatores meteoceanográficos e seus atrasados temporais.....	40
Tabela 5 –	Resultados da análise de Correspondência Canônica (CCA) entre a biomassa dos gêneros e os fatores meteoceanográficos das praias de Candeias e Tamandaré.....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Área de estudo	16
3.2 Coleta de dados.....	18
3.2.1 Dados biológicos.....	19
3.2.2 Dados químicos e físicos	19
3.2.3 Análise de Dados	20
4 RESULTADOS	22
4.1 Diversidade	22
4.2 Biomassa.....	31
4.3 Nutrientes.....	39
4.4 Fatores meteoceanográficos.....	40
5 DISCUSSÃO.....	45
6 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de macroalgas em ambientes marinhos tropicais é elevado, esses ambientes fornecem uma série de fatores essenciais para a sua sobrevivência, tais como substratos consolidado, e.g. recifes de corais e *beachrocks*, para fixação; radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em quantidades suficientes durante o ano todo e temperaturas elevadas (MEJIA; PUNCHER; ENGELEN, 2012). Porém, essas regiões são normalmente oligotróficas, com nutrientes oriundos do continente transportados aos oceanos através de rios e estuários (FONG et al., 2001). Apesar de importantes para o desenvolvimento desses organismos, em quantidade elevada, os nutrientes podem causar grandes blooms de macroalgas oportunistas de rápido crescimento (FONG, 2003; MCCLANAHAN; COKOS; SALA, 2002; TEICHBERG et al., 2010).

Além de figurar entre os principais produtores primários dos ecossistemas costeiros tropicais, as macroalgas tem se destacado pela importância de espécies formadoras de habitat e sedimento de extrema importância ecológica (FONG; PAUL, 2011; LEÃO, 1982; LITTLER; LITTLER, 1984), bem como fonte de biomassa para nutrição e prospecção de biomoléculas (WELLS et al., 2017). São organismos bentônicos com apenas algumas espécies que vivem à deriva na coluna d'água (pelágicas) como é o caso da alga parda, *Sargassum* C.Agardh. As macroalgas sempre estão em contato com uma grande diversidade de organismos marinhos e sua conectividade com o meio permite responder aos diversos fatores ambientais (GOECKE; IMHOFF, 2016).

Os fatores ambientais podem ser de origem biótica ou abiótica, e podem afetar o crescimento, a reprodução e o estabelecimento das macroalgas nos ambientes recifais (LITTLER; LITTLER, 1988). Apesar de serem fatores que controlam a colonização e crescimento das algas nos ambientes marinhos, eles desempenham funções importantes para o sucesso da grande biodiversidade nos recifes tropicais, alta radiação solar durante todo o ano e águas translúcidas e quentes são alguns deles (LITTLER; LITTLER, 2000).

Através da ação de forças meteoceanográficas como ondas, ventos e as variações das marés, as algas podem se desprender dos substratos aos quais estavam aderidas, e consequentemente aglomerar em regiões costeiras como as praias, sendo assim popularmente conhecidas como *sargaço*. A força mecânica aplicada pelos ventos, ondas e correntes atuam diretamente no desprendimento e distribuição das algas flutuantes até encalharem nas praias (ZHOU et al., 2021).

As mudanças climáticas e o aumento da temperatura do Oceano Atlântico podem estar influenciando diretamente na ocorrência de *blooms* de *Sargassum* em várias regiões do continente americano e na África (LOUIME; FORTUNE; GERVAIS, 2017). O Mar dos Sargãos trata-se de uma aglomeração de espécies pelágicas de *Sargassum* que permanecem circulando no Atlântico Norte e eventualmente arribam em praias do Caribe. Este evento é conhecido desde os tempos das grandes navegações e é estudado há décadas (RYTHER, 1956). Porém, nos últimos anos, a biomassa de *Sargassum* pelágico aumentou consideravelmente devido à uma congruência de fatores químicos de origem antrópica e fatores físicos oceanográficos (SMETACEK; ZINGONE, 2013). A grande quantidade de nutrientes, principalmente nitrogênio, oriundos de efluentes urbanos trazidos por grandes rios como o Congo e o Amazonas, e da fertilização do solo por agroindústrias (MONTROYA, 2008; SISSINI et al., 2017), a diminuição da cobertura vegetal da floresta Amazônica e a exposição do solo a grandes regimes de chuva (GLOOR et al., 2013; WANG et al., 2019) e até uma possível relação entre o transporte de ferro através de tempestades de poeira advindas do deserto do Saara são levados em conta (OVIATT et al., 2019; SWAP et al., 1992). O aumento da temperatura da superfície do mar e os regimes de chuva, agem em sinergia com os fatores mencionados acima causando uma condição ótima de crescimento para as espécies de *Sargassum* (WANG et al., 2019), o que levou ao evento atual denominado de Grande Cinturão de *Sargassum* do Atlântico Norte (GASB). Neste cenário, toneladas de macroalgas arribam nas praias do Caribe causando enormes prejuízos econômicos e ecológicos.

Grandes blooms de macroalgas verdes, vulgarmente chamados de marés verdes, vem acontecendo cada vez com mais frequência em todos oceanos e mares adjacentes de várias regiões do mundo nas últimas décadas (BAST; JOHN; BHUSHAN, 2015; FAHY et al., 1975; GAVIO; MANCERA-PINEDA, 2015; GIANASI et al., 2011; JEFFREY et al., 1995; KOLBE et al., 1995; MCCOMB; HUMPHRIES, 1992; NELSON; NELSON; TJOELKER, 2003; SCHRAMM; BOOTH, 1981; SFRISO et al., 1992; XIAO et al., 2021). Esses eventos sempre estão relacionados a países com grandes áreas costeiras urbanizadas ou com forte influência da agropecuária (SUN et al., 2008). Grandes quantidades de macroalgas verdes, geralmente das ordens Bryopsidales e Ulvales, chegam às praias e se acumulam durante a maré baixa, e através do processo de decomposição liberarem forte odor (RAFFAELLI; RAVEN; POOLE, 1998). A decomposição desses organismos pode causar grande impacto para a vida marinha e humana, podendo até causar a morte através dos compostos tóxicos que são produzidos pelos microrganismos decompositores (WANG; YU; ZHOU, 2011).

Eventos desordenados e monoespecíficos de algas arribadas podem causar grandes impactos em cidades litorâneas economicamente dependentes do turismo e diferentes tipos de pesca (HOAGLAND et al., 2002). A retirada dessas algas é uma das soluções encontradas para impedir as consequências da sua decomposição por microrganismos, principal fator que pode diminuir o atrativo turístico da praia e também causar a morte de animais de importância pesqueira (GREEN-GAVRIELIDIS et al., 2018; RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ et al., 2019).

No entanto, a retirada constante e desordenada dessa biomassa pode causar sérios impactos ambientais. A remoção frequente desse material vai também remover bastante areia, podendo causar uma aceleração na erosão e assim a mudança da topografia local (PIRIZ; EYRAS; ROSTAGNO, 2003). A matéria orgânica das algas arribadas influencia fortemente na estrutura da macrofauna bentônica de praias arenosas, assim como também a presença de predadores como aves marinhas (DUGAN et al., 2003), portanto, a limpeza na praia só é indicada em caso de *blooms*, sua ocorrência usual é de imensa importância ecológica e sua retirada pode alterar a teia alimentar local, assim como a diminuição da abundância de espécies (DEFEO et al., 2009). No Brasil existem mecanismos legais para a retirada de macroalgas arribadas com a solicitação prévia da prefeitura da cidade afetada pelo evento, porém, tem que ser dado um destino final útil à biomassa removida (BRASIL, 2006).

Algas são utilizadas na gastronomia e medicina há séculos pelos humanos. Existem registros milenar de uso das macroalgas pelos chineses e japoneses. Atualmente faz parte de um mercado bilionário na produção de ficocolóides e espécies comestíveis (SMIT, 2004). Além dos estudos taxonômicos e ecológicos utilizando algas arribadas, nas últimas três décadas tem aumentado o interesse em estudos biotecnológicos utilizando a biomassa das algas arribadas em todo o mundo (HARB; CHOW, 2022), como pesquisas nas áreas de bioatividade antifúngica e potencial farmacológico (GÓMEZ-HERNÁNDEZ et al., 2021; HARB et al., 2021; ZÁRATE et al., 2020), bioenergia e fertilizantes (BARBOT; AL-GHAILI; BENZ, 2016; THOMPSON; YOUNG; BAROUTIAN, 2020), alimentação animal (NKEMKA; ARENALES-RIVERA; MURTO, 2014) e adsorção de metais pesados (GREGER; MALM; KAUTSKY, 2007; LODEIRO et al., 2010; SILVA, 2010).

As macroalgas são organismos abundantes e dominam os recifes costeiros em Pernambuco. O desprendimento das macroalgas dos substratos é uma consequência direta aos processos que se desenrolam nos ambientes recifais. Estudar esses processos e os fatores, ambientais e antropogênicos, que acarretam essas ocorrências trará entendimento sobre como as algas respondem em função das mudanças nos ambientes e dos fatores meteoceanográficos no ambiente tropical.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar a relação entre a ocorrência de algas arribadas e sua biomassa com os fatores abióticos oceanográficos nas praias de Candeias e Tamandaré – Pernambuco.

2.2 Objetivos específicos

- Fazer o levantamento dos principais gêneros que compõem as macroalgas arribadas nas praias de Candeias e Tamandaré;
- Quantificar a biomassa das macroalgas arribadas sazonal e especialmente;
- Correlacionar a ocorrência de arribadas com os fatores meteoceanográficos abióticos químicos e físicos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

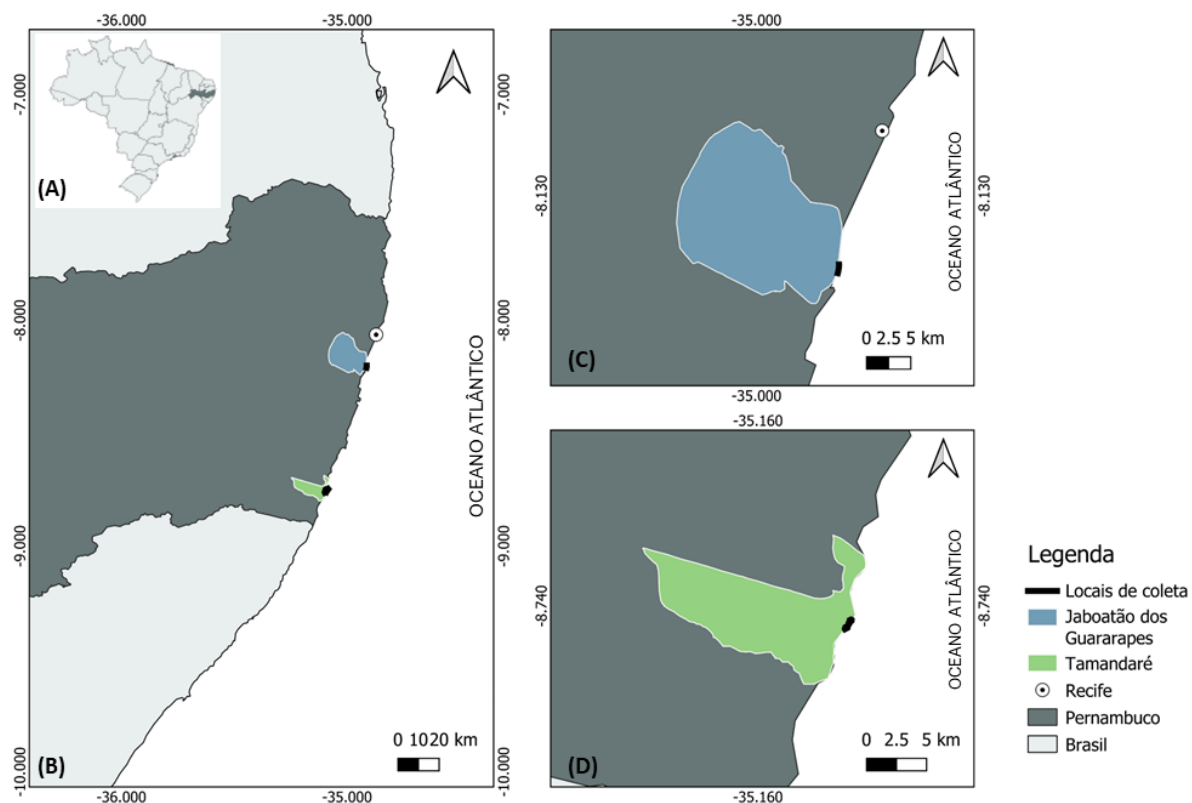
O presente estudo foi realizado em duas praias do litoral do estado de Pernambuco, Brasil: praia de Candeias, no município de Jaboatão dos Guararapes, e a praia de Tamandaré no município de mesmo nome. A praia de Candeias está localizada a 5,5 km da capital Recife, sendo englobada na região metropolitana, enquanto Tamandaré fica a 105 km de distância da capital (Fig. 1).

Ambas as praias recebem descargas de dois rios cada, em Candeias o Rio Jaboatão e o Rio Pirapama, e em Tamandaré o Rio Formoso e o Rio Mamucabas, responsáveis pelo aumento da turbidez da água durante os meses chuvosos de inverno e início de outono (BORBA, 1999; DE MACEDO, 2009).

A formação recifal de ambas as praias são de origem coralina e algácea, estando paralelas à linha de costa, em diferentes profundidades e algumas ficam expostas durante a baixa mar (BORBA, op. cit; MAIDA; FERREIRA, 1997). A praia de Tamandaré encontra-se dentro de duas áreas de proteção e conservação ambiental, a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa dos Corais e Parque Natural Municipal do Forte de Tamandaré (BRASIL, 2003; ICMBIO, 2012) que também está inserida como área de estudo do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração Tamandaré Sustentável (PELD-TAMS).

O nível de tratamento de esgoto em Jaboatão dos Guararapes é baixo em comparação à sua população, o bairro de Candeias é o mais populoso do município, com mais de 50 mil habitantes, enquanto o município de Tamandaré tem ao todo 23 mil habitantes (IBGE, 2022) A praia de Candeias já passou por grandes modificações através do alargamento da faixa de areia que foi realizado entre os anos de 2013 e 2014, alterando fortemente a topografia da praia.

Figura 1 - Mapa da área de estudo.

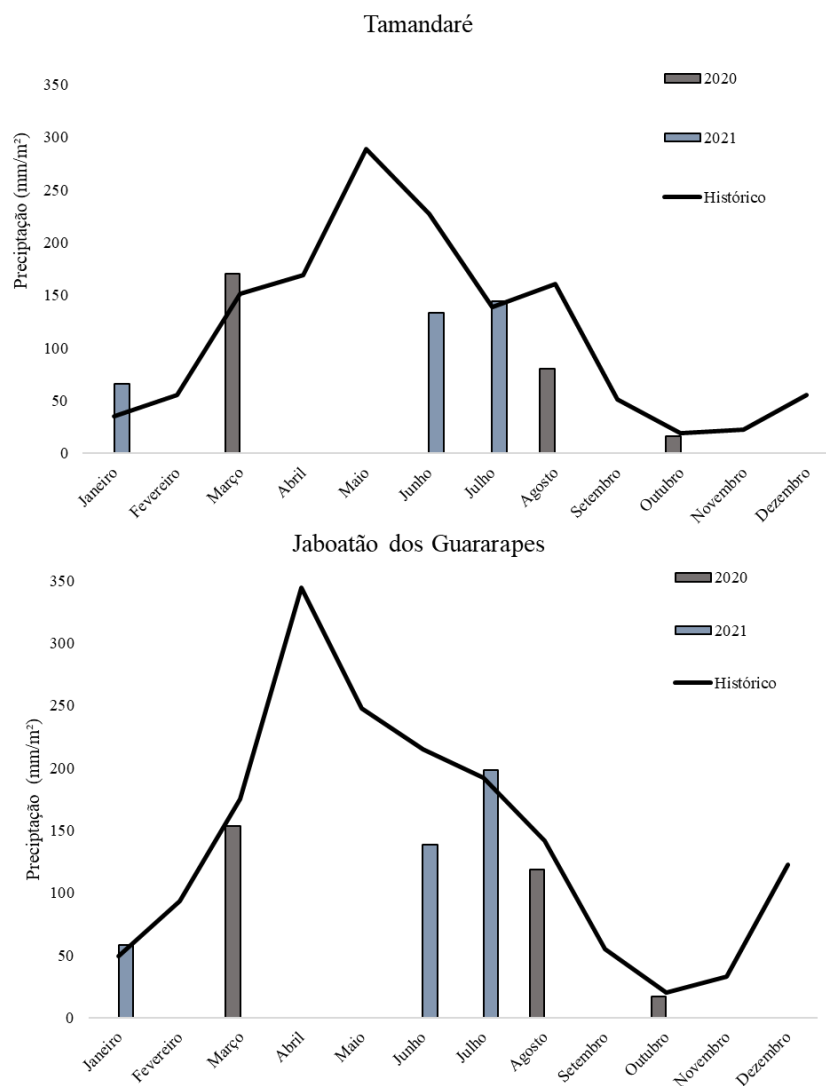


Fonte: O autor, 2022.

Nota: Mapa do Brasil destacando o estado de Pernambuco (A); litoral de Pernambuco (B); Município de Jaboatão dos Guararapes destacando a área de coleta na praia de Candeias (C); Município de Tamandaré destacando a área de coleta na praia de Tamandaré (D).

As praias de Candeias e Tamandaré estão localizadas a 89 km de distância entre si, em uma região onde o clima é definido como “AF” ou “Clima de Floresta Tropical” pelo critério de Köppen-Geiger (BECK et al., 2018). Existem duas estações climáticas bem definidas que são classificadas como período chuvoso e seco. As coletas foram estabelecidas utilizando essa classificação, porém em Tamandaré os meses de março, agosto e junho foram atípicos, e em Candeias, os meses de junho, julho e agosto (Fig. 2).

Figura 2 - Precipitação histórica mensal (1995-2021) e acúmulo mensal dos meses de coleta dos anos 2020 e 2021 nos municípios de Tamandaré e Jaboatão dos Guararapes – PE.



Fonte: Agência Pernambucana de Água e Clima/APAC, 2022.

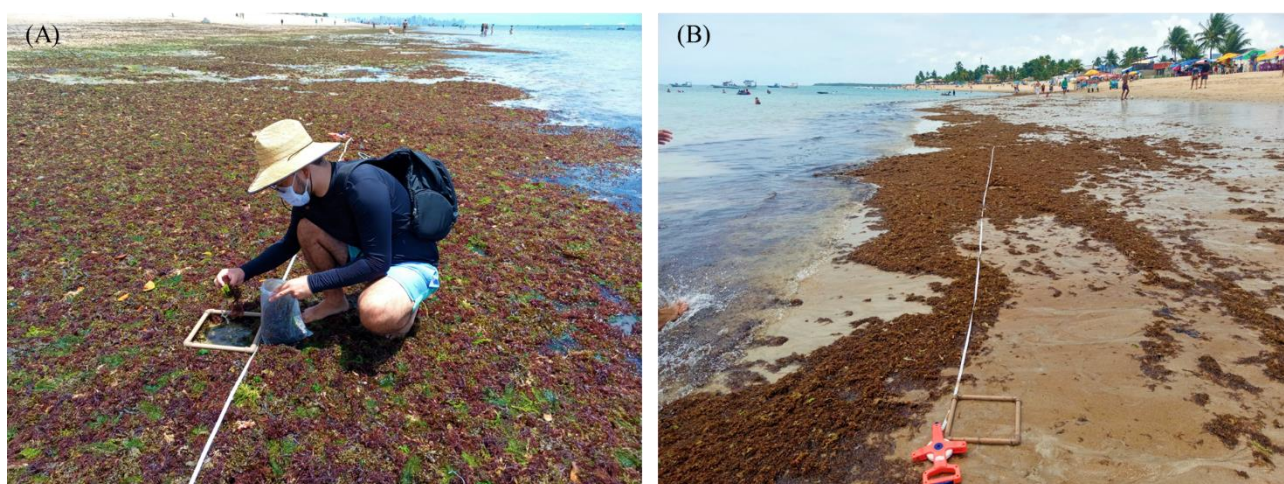
3.2 Coleta de dados

A extensão da área de estudo em cada praia foi delimitada em 1 km. Essas regiões foram selecionadas com base na ocorrência de macroalgas observadas anteriormente, no começo do estudo. Foi realizado um total de 6 campanhas em ambas as praias, onde foram divididas entre coletas de período chuvoso (março e agosto de 2020 e junho e julho de 2021) e de período seco (outubro de 2020 e janeiro de 2021). As coletas aconteceram sempre durante as marés baixas de sizígia, onde a faixa de areia é maior e assim acumulando mais macroalgas nas praias.

3.2.1 Dados biológicos

Dentro da área delimitada de 1 quilometro, foram criadas três subáreas de 330 metros cada para homogeneização da distribuição dos dados na extensão escolhida. Para cada subárea foram realizados três transectos, sempre paralelos à linha de costa, totalizando 9 por campanha. Em cada transecto foram posicionados 3 quadrados de 25x25 centímetros, totalizando 27 amostras por campanha, esses transectos sempre foram posicionados onde as manchas de algas arribadas foram encontradas dentro da área de estudo, com as posições dos quadrados sendo sorteados anteriormente (Fig. 3). Ao fim, foram obtidas um total de 324 amostras.

Figura 3 - Método de coleta utilizando transecto de 10 metros.



Fonte: O autor (2020).

Nota: Coleta de arribadas na praia de Candeias (A) e Tamandaré (B).

A identificação dos táxons foi realizada utilizando microscópio e lupa com base nas características morfológicas e classificados de acordo com Wynne (2017) e Guiry & Guiry (2022). Após a identificação e categorização por gênero, as macroalgas foram secas em estufa com temperatura frequente de 60 °C, para assim serem pesadas em balança analítica e obtermos o valor em gramas da biomassa seca.

3.2.2 Dados químicos e físicos

A cada campanha 3 amostras de água foram coletadas em uma garrafa de 500ml por subárea, totalizando 36 amostras durante todo o estudo. Foram feitas amostragens de água superficial de áreas adjacentes aos recifes mais próximos das praias para análise de nutrientes (nitrato, nitrito e fosfato). Ainda em campo as garrafas foram armazenadas em *coolers* com gelo para conservação dos componentes químicos da água.

Para as análises dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, todas as amostras foram filtradas previamente com filtro de fibra de vidro e utilizados métodos colorimétricos usando um espectrofotômetro Cary 100 UV-Vis. Para as medições de Nitrito (NO_3^-) e Nitrato (NO_2^-) foi utilizado o método sugerido por Strickland e Parsons (1972) e para fosfato inorgânico dissolvido foi utilizado o método sugerido por Grasshoff et. al (1999).

Os dados oceanográficos físicos de altura da onda, radiação solar fotossinteticamente ativa e intensidade dos ventos foram obtidos na base de dados *The Environmental Research Division Data Access Program* (ERDAPP)¹ da *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA). Os dados de pluviometria foram obtidos na base de dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC)².

Para testar o tempo de resposta das algas arribadas, os dados meteoceanográficos foram adquiridos com um atraso temporal em relação ao dia de coleta das algas:

- *Vento e onda*: coleta de dados semanais. Foram coletados os dados dos cinco dias que antecedem a coleta e do dia da coleta. (Vento/Onda 5, 4, 3, 2, 1 e 0: cada número representa os dias anteriores à coleta, 0 representa os dados do dia da coleta. Para vento foi utilizado o componente modulus (m/s^{-1}) e a componente altura (m) para as ondas;
- *Radiação fotossinteticamente ativa (PAR)*: coleta de dados mensais. Foram coletados dados de PAR de dois meses, um mês que antecedem a coleta e do mês da coleta (PAR 2, 1 e 0);
- *Pluviosidade*: coleta de dados mensais. Foram coletados dados de pluviosidade diária dos 60, 30 e 15 dias que antecedem a coleta (Pluviosidade 60, 30 e 15).

3.2.3 Análise de Dados

Os índices ecológicos: 1) Diversidade de Shannon, 2) Riqueza de espécies e 3) Índice de Equitabilidade de Pielou foram calculados para as praias e para as estações, com o uso do pacote *vegan* (OKSANEN et al., 2022). Posteriormente comparou-se os índices nos dois fatores, utilizando o teste de Mann-Whitney.

Para comparar a biomassa total e dos gêneros mais abundantes entre as praias de Candeias e Tamandaré e durante as estações seca e chuvosa foi usado teste de Wilcoxon. Os nutrientes foram analisados em conjuntos praia e estação (Candeias, estação seca [Cs]; Candeias, estação

¹ <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>

² <https://www.apac.pe.gov.br/>

chuvosa [Cc]; Tamandaré, estação seca [Ts] e Tamandaré, estação chuvosa [Tc]). Para isso foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis e, a posteriori foi usado o teste de Nemenyi par a par. Para essa análise foi utilizado o pacote PMCMRplus ajustado por *single step* (POHLERT, 2022).

Para saber qual o melhor atraso temporal entre as variáveis meteoceanográficas foram feitas correlações de Spearman entre cada período e a biomassa total de algas. Foram selecionados os períodos que apresentaram correlação maior (ρ) e significativa ($p < 0,05$).

A análise de correspondência canônica (CCA) foi utilizada para comparar as distribuições das amostras de praias e dos gêneros identificados em função das variáveis ambientais químicas e meteoceanográficas. Algumas amostras foram vazias, ou seja, não houve alga arribada, então foi acrescentado um valor inerte à base de dados (dummy value = 1) em todas as amostras para que a CCA fosse calculada. O escalonamento teve como base a distribuição das espécies e a significância da formação dos eixos foi atestada com uma anova ($p < 0,05$). A CCA foi elaborada usando o pacote vegan (OKSANEN et al., op. cit.). As análises e gráficos foram feitos usando o *software* R Core Team (2022).

4 RESULTADOS

4.1 Diversidade

Foram identificados 41 gêneros: 23 Rhodophyta, 11 Chlorophyta e 8 Ochrophyta distribuídos em 22 ordens. As algas do filo Rhodophyta foram dominantes em termos de riqueza em ambas as praias, sendo a ordem Ceramiales a maior em número de gêneros (10). Para o filo Ochrophyta, a ordem Dictyotales foi a mais representativa com 6 gêneros e para o filo Chlorophyta foram as ordens Bryopsidales e Cladophorales com 4 gêneros cada. Dos 41 gêneros, 30 foram encontrados em ambas as praias, sendo 8 gêneros encontrados apenas em Tamandaré e 3 em Candeias (Tab. 1; Fig. 4, 5 e 6).

Tabela 1 - Lista dos gêneros de macroalgas dos filos Ochrophyta, Rhodophyta e Chlorophyta identificados nas praias de Candeias (PC) e Tamandaré (PT) durante as estações seca (S) e chuvosa (C) no período de 2020-2021.

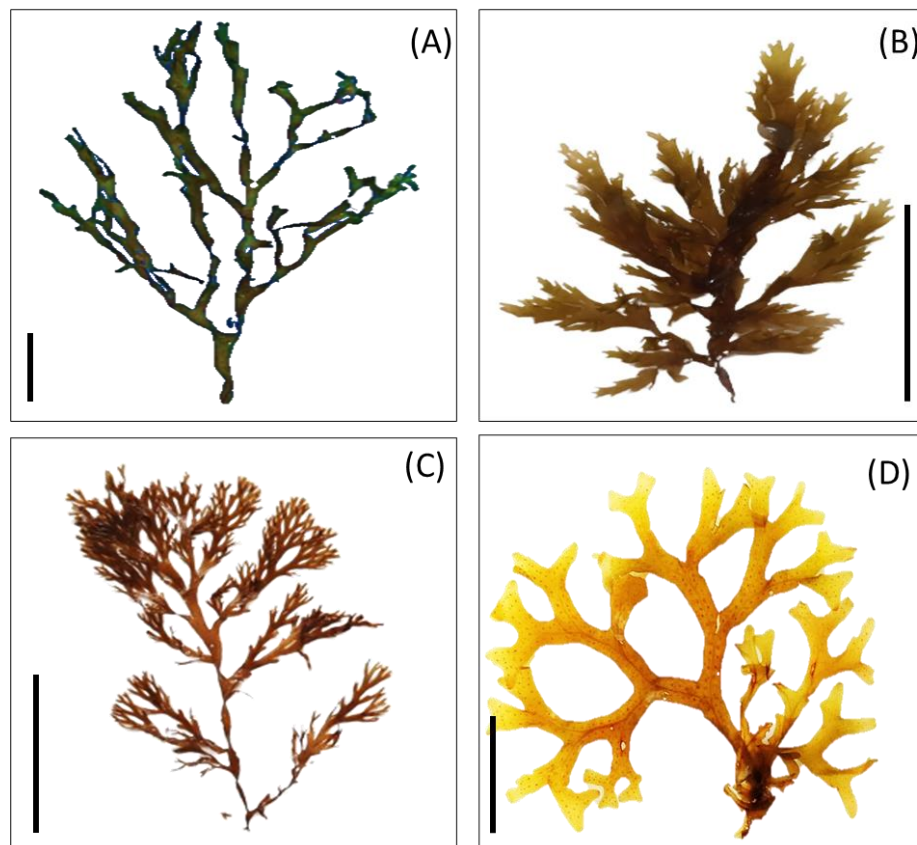
Táxons	Praias			
	PC		PT	
	S	C	S	C
Filo Ochrophyta				
Classe Phaeophyceae				
Ordem Dictyotales				
Família Dictyotaceae				
<i>Canistrocarpus</i> De Paula & De Clerck	X	X	X	X
<i>Dictyota</i> J.V.Lamouroux	X	X	X	X
<i>Dictyopteris</i> J.V.Lamouroux	X	X	X	X
<i>Lobophora</i> J.Agardh	X	X	X	X
<i>Padina</i> Adanson	X	X	X	X
<i>Spatoglossum</i> Kützinger	X	X	X	X
Ordem Ectocarpales				
Família Scytosiphonaceae				
<i>Rosenvingea</i> Børgesen			X	X
Ordem Fucales				
Família Sargassaceae				
<i>Sargassum</i> C.Agardh	X	X	X	X
Filo Rhodophyta				
Classe Florideophyceae				
Ordem Ceramiales				
Família Ceramiaceae				
<i>Centroceras</i> Kützinger		X		
<i>Ceramium</i> Roth				X
Família Rhodomelaceae				
<i>Acanthophora</i> J.V.Lamouroux	X		X	X
<i>Alsidium</i> C.Agardh	X	X	X	X
<i>Amansia</i> J.V.Lamouroux	X		X	X
<i>Digenea</i> C.Agardh			X	
<i>Enantiocladia</i> Falkenberg	X	X	X	X

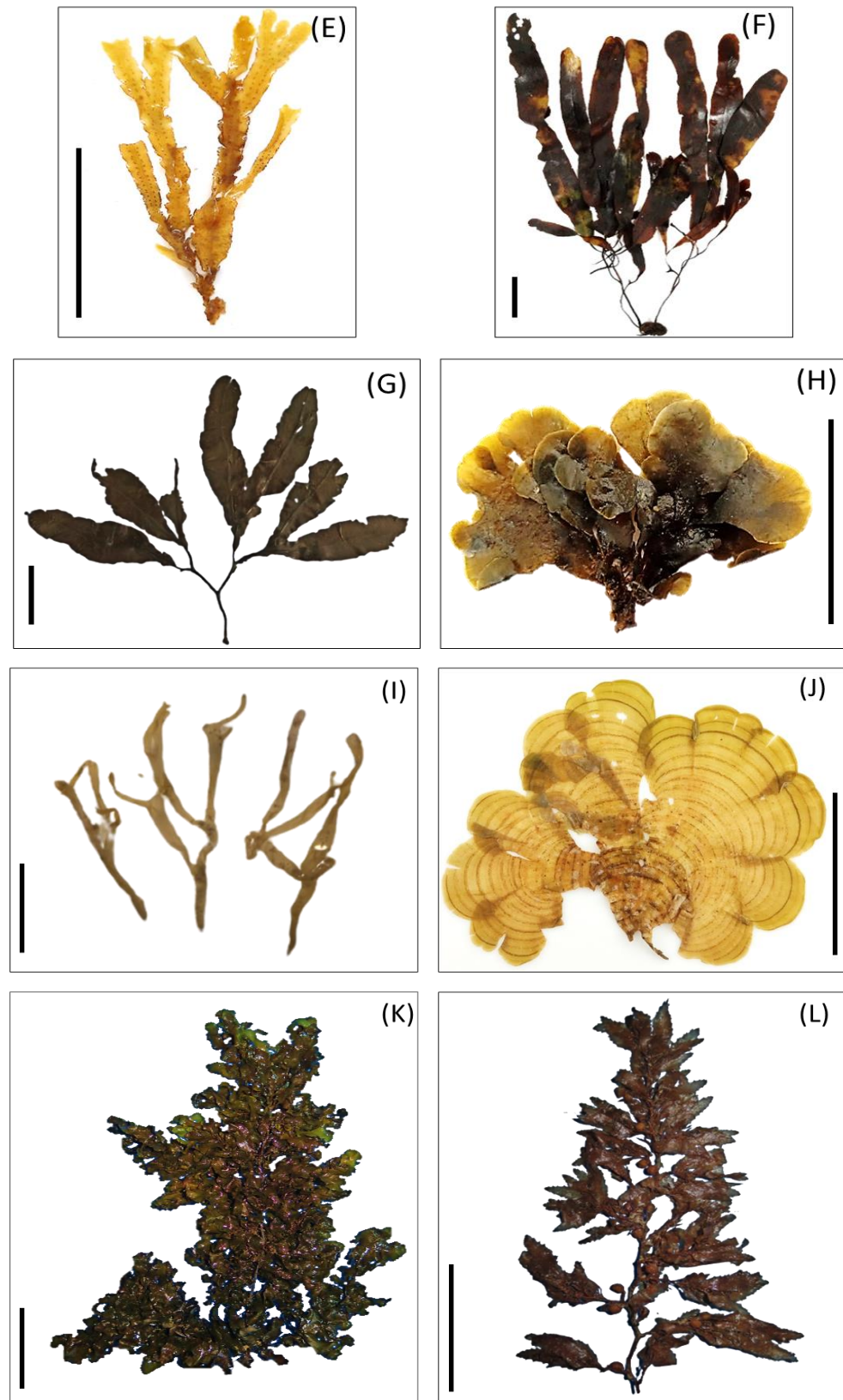
<i>Laurencia</i> J.V.Lamouroux			X	X
<i>Osmundaria</i> J.V.Lamouroux	X	X	X	X
<i>Palisada</i> K.W.Nam	X	X	X	X
Família Wrangeliaceae				
<i>Haloplegma</i> Montagne	X	X	X	
Ordem Corallinales				
Família Corallinaceae				
<i>Jania</i> J.V.Lamouroux	X	X	X	X
<i>Corallina</i> Linnaeus	X	X	X	X
Família Lytophylaceae				
<i>Amphiroa</i> J.V.Lamouroux				X
Ordem Gelidiales				
Família Gelidiaceae				
<i>Gelidium</i> J.V.Lamouroux	X	X	X	X
Família Gelidiellaceae				
<i>Gelidiella</i> Feldmann & G.Hamel	X	X	X	X
Ordem Gigartinales				
Família Cystocloniaceae				
<i>Hypnea</i> J.V.Lamouroux	X	X	X	X
Família Gigartinaceae				
<i>Chondracanthus</i> Kützing	X		X	X
Família Solieriaceae				
<i>Solieria</i> J.Agardh		X	X	X
Família Rhizophyllidaceae				
<i>Ochtodes</i> J.Agardh	X	X		
Ordem Gracilariales				
Família Gracilariaceae				
<i>Gracilaria</i> Greville	X	X	X	X
Ordem Halymeniales				
Família Halymeniaceae				
<i>Cryptonemia</i> J.Agardh	X	X	X	X
Ordem Nemaliales				
Família Galaxauraceae				
<i>Tricleocarpa</i> Huisman				X
Ordem Rhodymeniales				
Família Lomentariaceae				
<i>Ceratodictyon</i> Zanardini	X	X	X	X
Família Rhodymeniaceae				
<i>Botryocladia</i> (J.Agardh) Pfeiffer	X	X		
Filo Chlorophyta				
Classe Ulvophyceae				
Ordem Bryopsidales				
Família Bryopsidaceae				
<i>Bryopsis</i> J.V.Lamouroux	X	X	X	X
Família Caulerpaceae				
<i>Caulerpa</i> J.V.Lamouroux	X	X	X	X
Família Halimedaceae				
<i>Halimeda</i> J.V.Lamouroux	X	X	X	X

Família Udoteaceae				
<i>Udotea</i> J.V.Lamouroux		X		X
Ordem Cladophorales				
Família Anadyomenaceae				
<i>Anadyomene</i> J.V.Lamouroux	X		X	X
Família Cladophoraceae				
<i>Cladophora</i> Kützting	X	X	X	X
<i>Chaetomorpha</i> Kützting			X	X
Família Siphonocladaceae				
<i>Dictyosphaeria</i> Decaisne			X	X
Ordem Dasycladales				
Família Dasycladaceae				
<i>Acetabularia</i> J.V.Lamouroux			X	X
Ordem Ulvales				
Família Ulvaceae				
<i>Ulva</i> Linnaeus	X	X	X	X

Fonte: O autor (2022)

Figura 4 - Gêneros do filo Ochrophyta encontrados nas algas arribadas das praias de Candeias e Tamandaré – PE durante o período chuvoso e seco dos anos de 2020 e 2021.

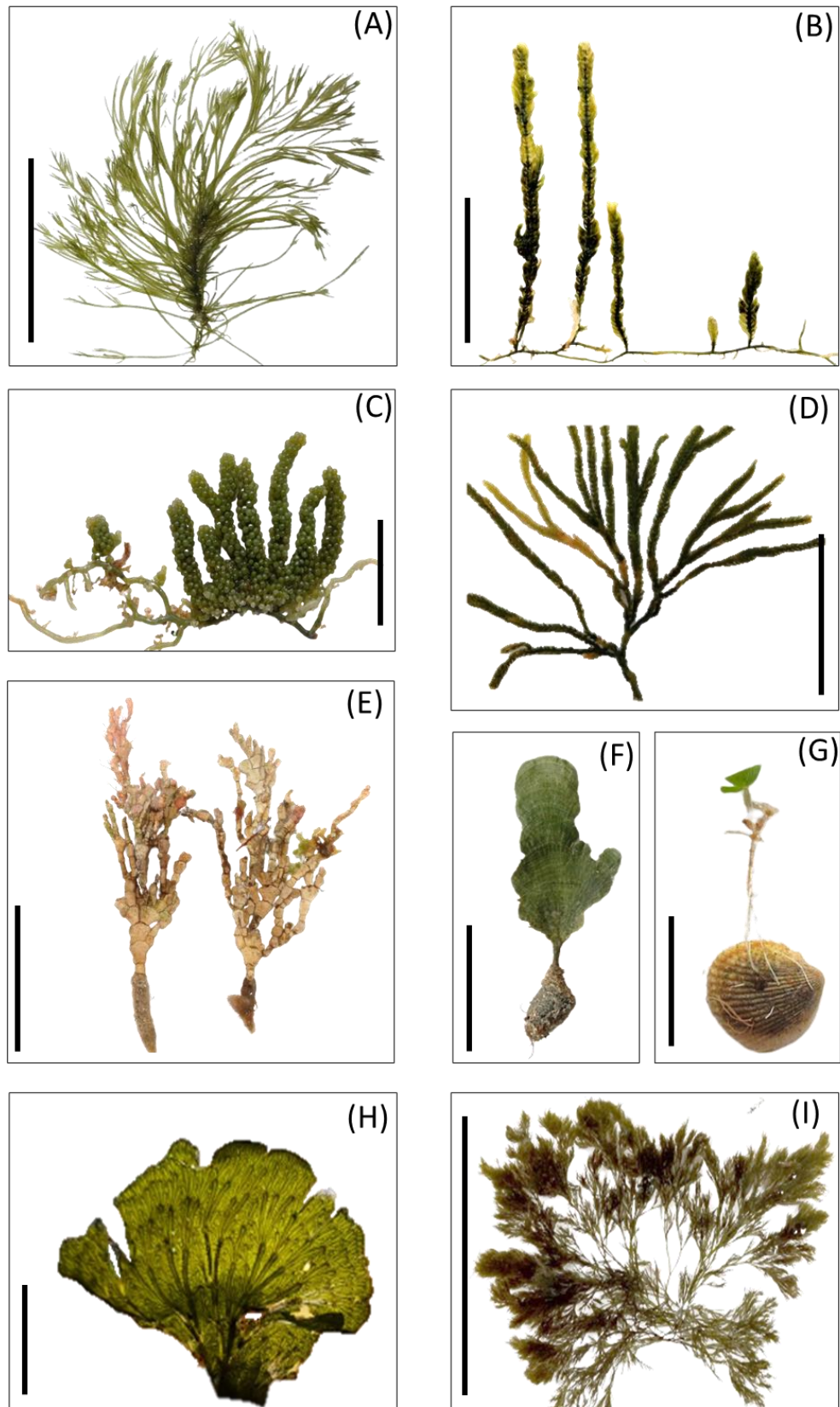


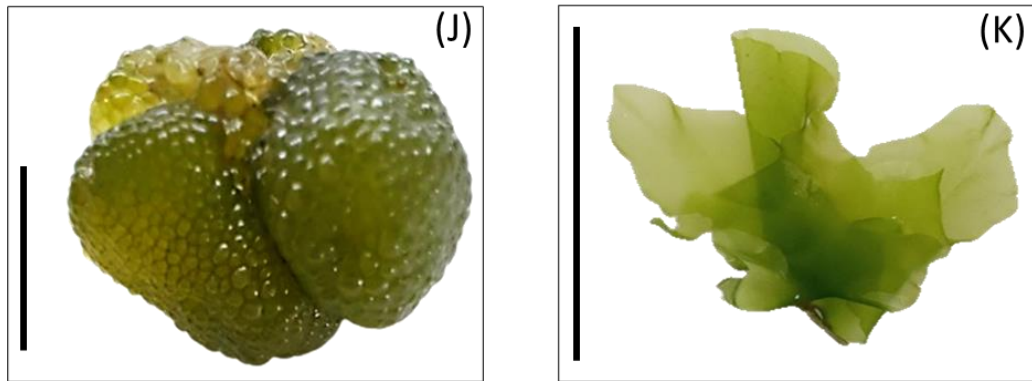


Fonte: O autor (2022).

Nota: *Canistrocarpus* sp. (A); *Dictyopta* sp.p (B-C); *Dictyopteris* sp.p (D-G); *Lobophora* sp. (H); *Rosenvingea* sp. (I); *Padina* sp. (J); *Sargassum* sp.p (K-L). Escalas: 1cm (A, D e I); 5 cm (B, C, E, F, G, H, J, K e L).

Figura 5 - Gêneros do filo Chlorophyta encontrados nas algas arribadas das praias de Candeias e Tamandaré – PE durante o período chuvoso e seco dos anos de 2020 e 2021.

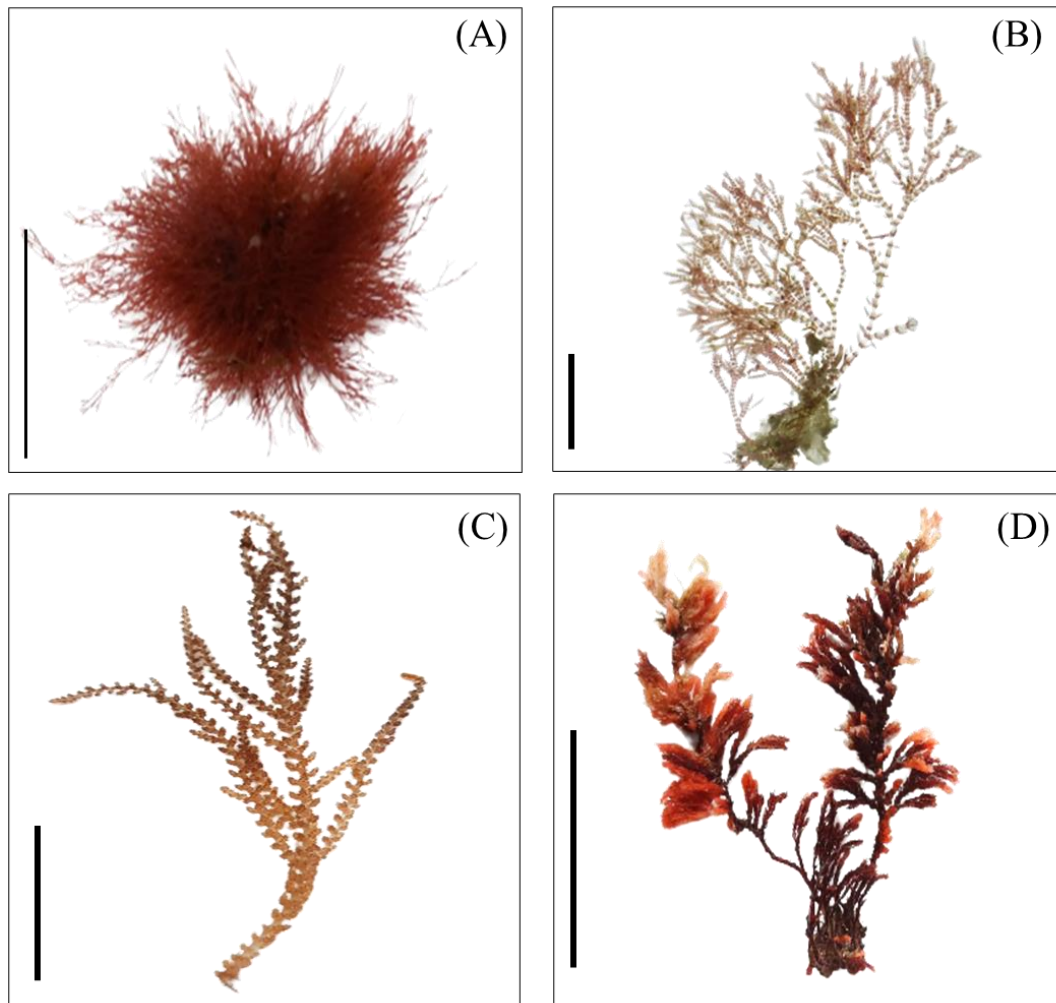


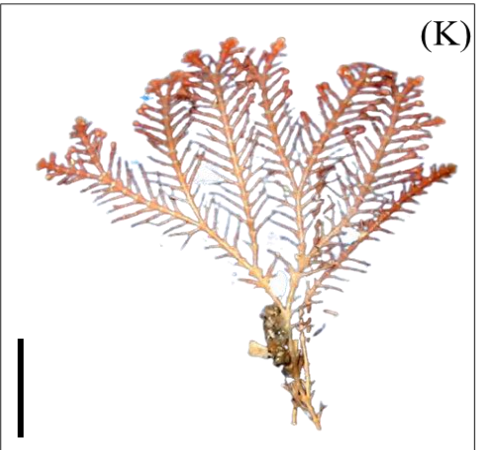
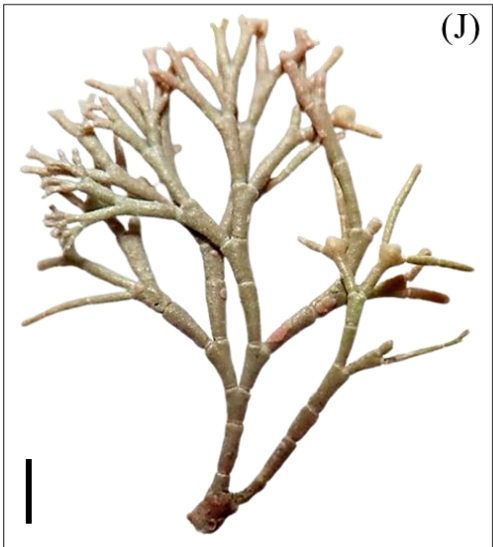
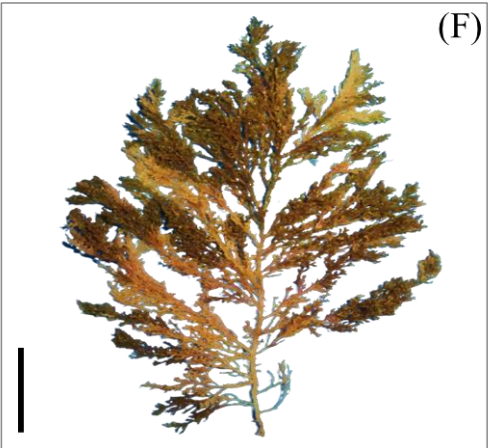
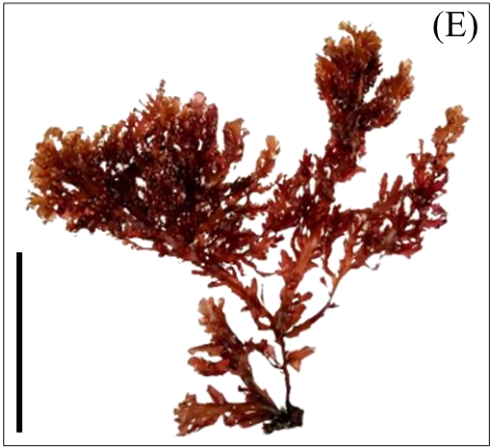


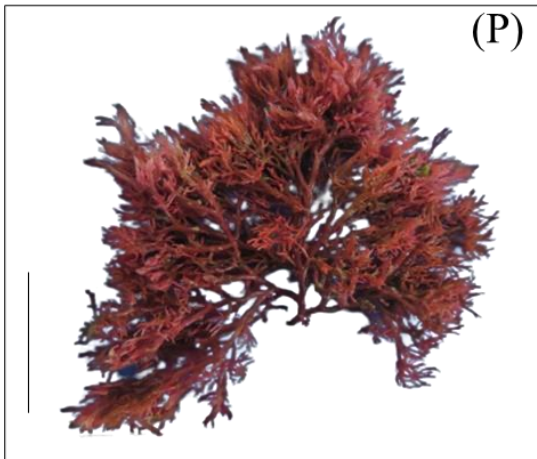
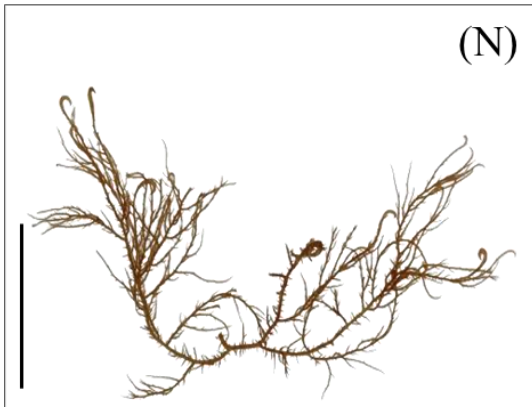
Fonte: O autor (2022).

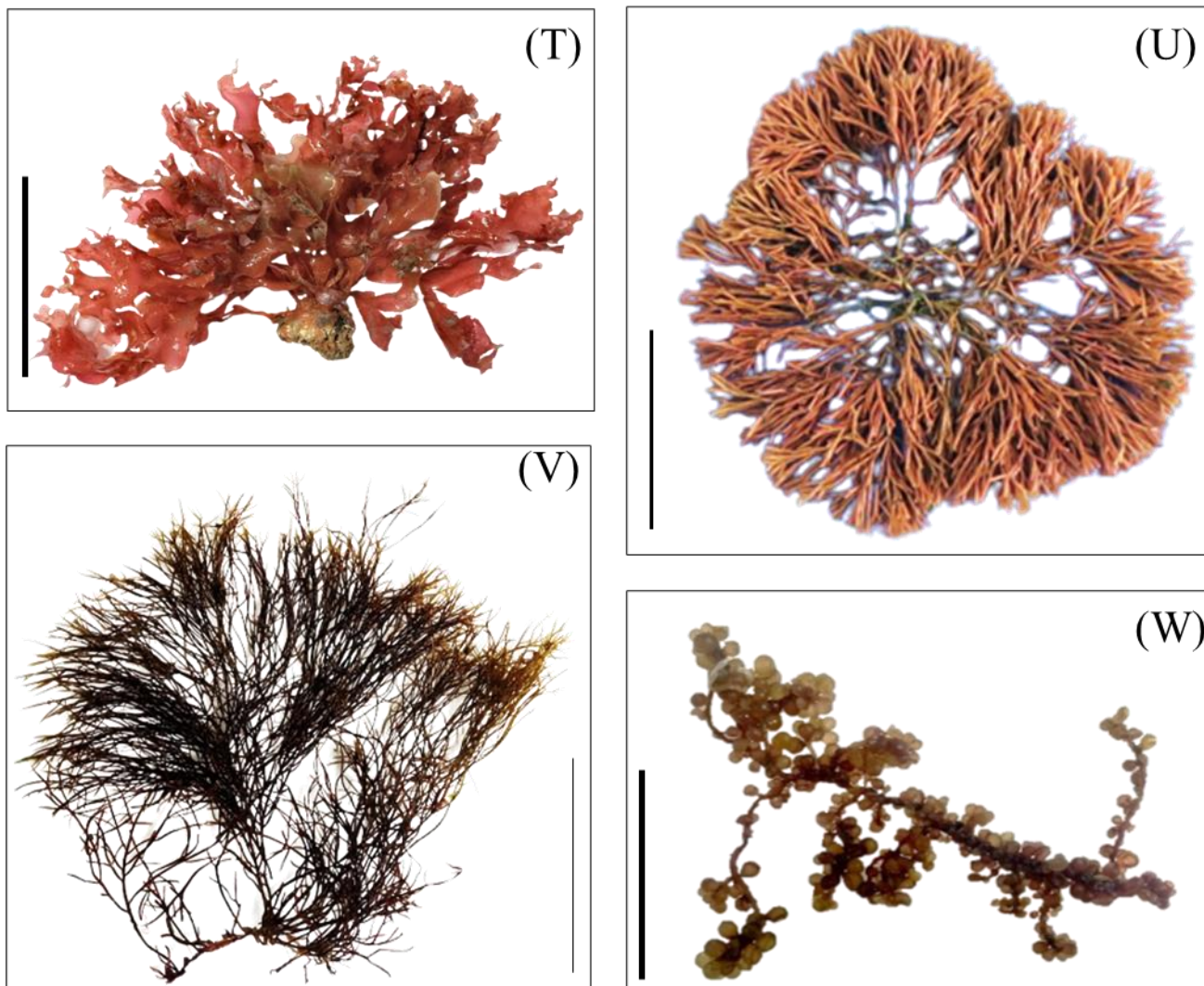
Nota: *Bryopsis* sp. (A); *Caulerpa* sp.p (B-D); *Halimeda* sp. (E); *Udotea* sp. (F); *Acetabularia* sp. (G); *Anadyomene* sp. (H); *Cladophora* sp. (I); *Dictyosphaeria* sp. (J); *Ulva* sp. (K). Escalas: 5 cm (A, B, C, D, E, F e I); 3 cm (G, H e I); 1 cm (J).

Figura 6 - Gêneros do filo Rhodophyta encontrados nas praias de Candeias e Tamandaré – PE durante o período chuvoso e seco dos anos de 2020 e 2021.







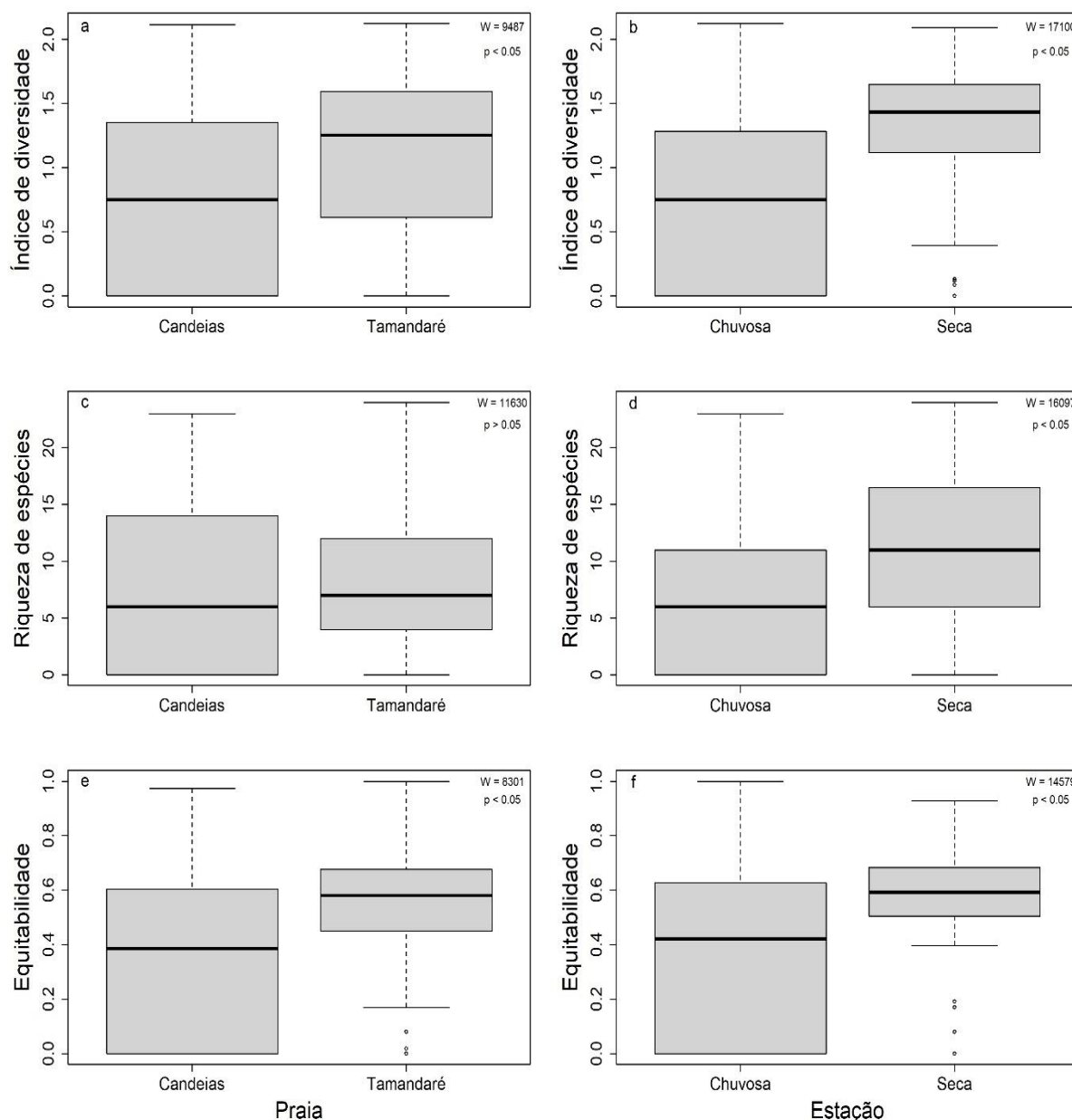


Fonte: O autor (2022).

Nota: *Centroceras* sp. (A); *Ceramium* sp. (B); *Acantophora* sp. (C); *Alsidium* sp. (D); *Amansia* sp. (E); *Laurencia* sp. (F); *Osmundaria* sp. (G); *Haloplegma* sp. (H); *Jania* sp. (I); *Corallina* sp.p (J-K); *Gelidium* sp. (L); *Gelidiella* sp. (M); *Hypnea* sp. (N); *Chondracanthus* sp. (O); *Ochtodes* sp. (P); *Gracilaria* spp (Q-S); *Cryptonemia* sp. (T); *Tricleocarpa* sp. (U); *Ceratodictyon* sp. (V); *Botryocladia* sp. (W). Escalas: 2 cm (A); 200 μ m (B); 5 cm (C-H, M-P, R-T, V e W), 0,5 cm (I e K) e 3 cm (Q e U).

As respostas dos índices ecológicos de diversidade de Shannon e equitabilidade de Pielou apontaram uma diferença significativa na diversidade de gêneros entre as duas praias, com Tamandaré apresentando a maior diversidade de gêneros, assim como entre as estações chuvosa e seca, onde a maior diversidade ocorreu nos meses do período seco. A riqueza de gênero entre as praias foi baixa, tendo uma diferença não significativa, entretanto há uma diferença na composição entre as estações, onde houve uma maior ocorrência de gênero durante as coletas do período seco (Fig. 7).

Figura 7 - Descritores ecológicos de diversidade de Shannon (a, b), riqueza (c, d) e equitabilidade de Pielou (e, f) para as amostras de algas arribadas com influência dos fatores espacial (praia) e sazonal (estação).

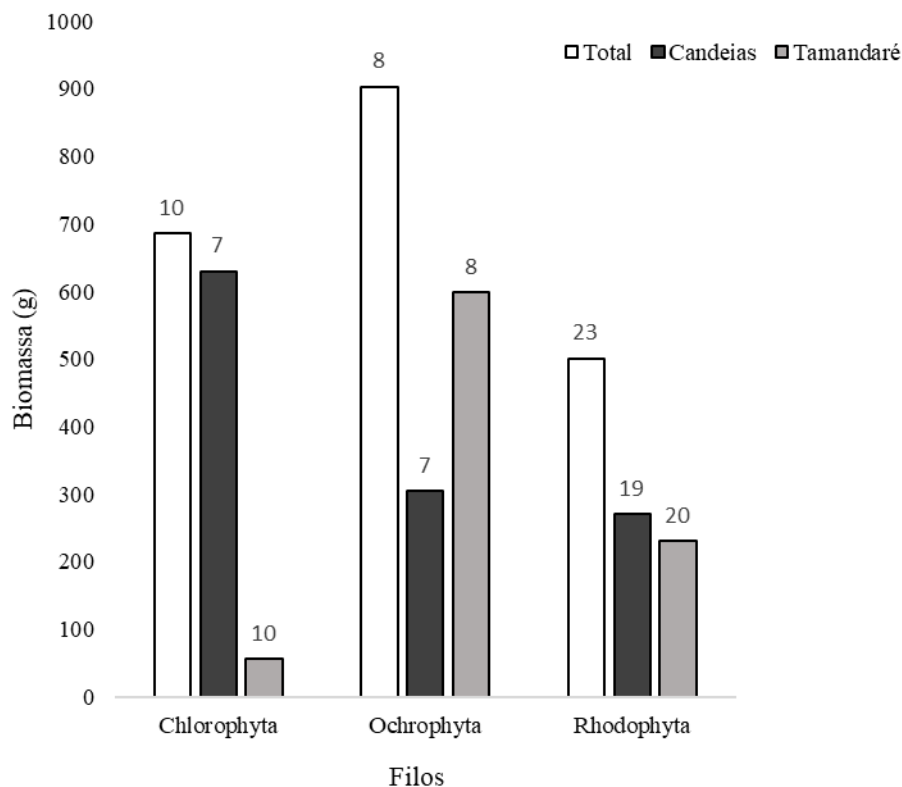


Fonte: O autor, 2022.

4.2 Biomassa

A biomassa dos filos Chlorophyta, Ochrophyta e Rhodophyta variaram entre as praias, com as algas verdes dominando a praia de Candeias e as pardas em Tamandaré (Fig. 8). Apesar do menor número de gêneros de algas verdes (10) e pardas (8), a biomassa em ambas as praias foi elevada, superando as algas vermelhas que apesar dos valores consistentes em biomassa e maior número de gêneros (23), apresentou a menor biomassa total durante o desenvolvimento desse estudo.

Figura 8 - Soma total da biomassa (g) dos filos Chlorophyta, Ochrophyta e Rhodophyta e nas praias de Candeias e Tamandaré (PE). Rótulos representam o total dos gêneros por filo e ocorrência para cada praia.

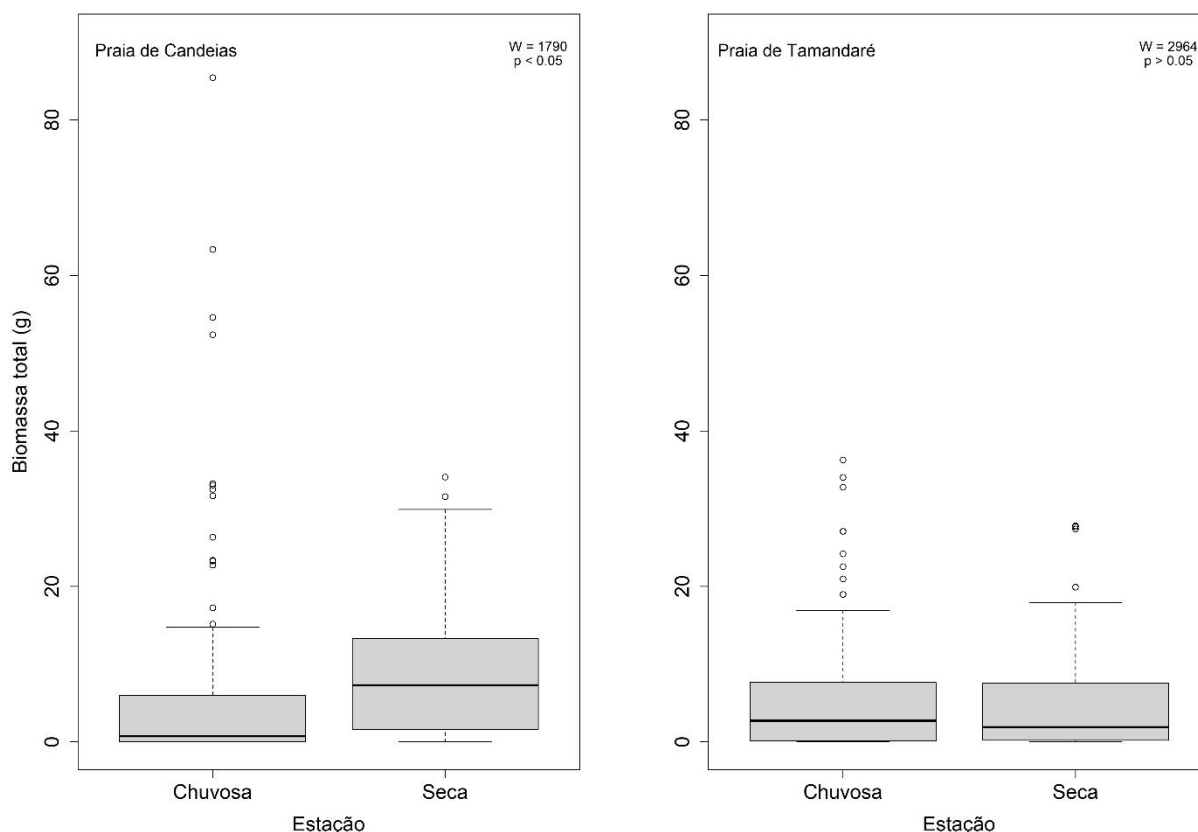


Fonte: O autor, 2022.

Dos 41 gêneros identificados em ambas as praias, 13 gêneros representaram 95% do total da biomassa coletada, sendo os gêneros *Bryopsis* (29,6%) e *Dictyopteris* (26,7%) os mais dominantes representando em conjunto 56,3% da biomassa total. Os outros 28 gêneros ficaram com menos de 1% cada, representando 4,8% do total. A biomassa seca total da praia de Candeias foi maior que a de Tamandaré, somando 2.700g e 887g, respectivamente.

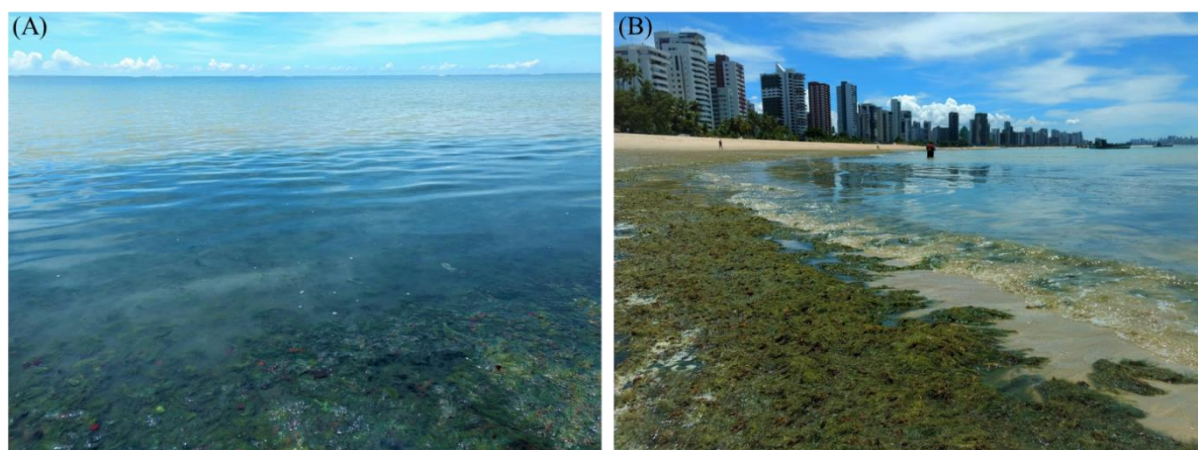
A biomassa durante as estações chuvosa e seca não apresentaram diferença significativa entre si na praia de Tamandaré. Na praia de Candeias as estações diferenciaram-se significativamente, ocorrendo uma maior quantidade de algas arribadas durante os meses da estação seca (Fig. 9). No entanto, foi observado um *bloom* de *Bryopsis* durante a coleta de março de 2020 na praia de Candeias que alterou significativamente a composição das arribadas, dando uma coloração esverdeada ao ambiente (Fig.10). O acúmulo da biomassa durante o evento foi bastante expressivo, elevou os valores de biomassa no período chuvoso, sendo o mês com a maior biomassa de arribadas da praia de Candeias (621g), duas vezes mais que outubro (300g), o mês do período seco com a maior biomassa.

Figura 9 - Biomassa total (g) das macroalgas arribadas por estação chuvosa e seca nas praias de Candeias e Tamandaré - PE.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 10 - Praia de Candeias durante a coleta de março de 2020.



Fonte: O autor, 2022.

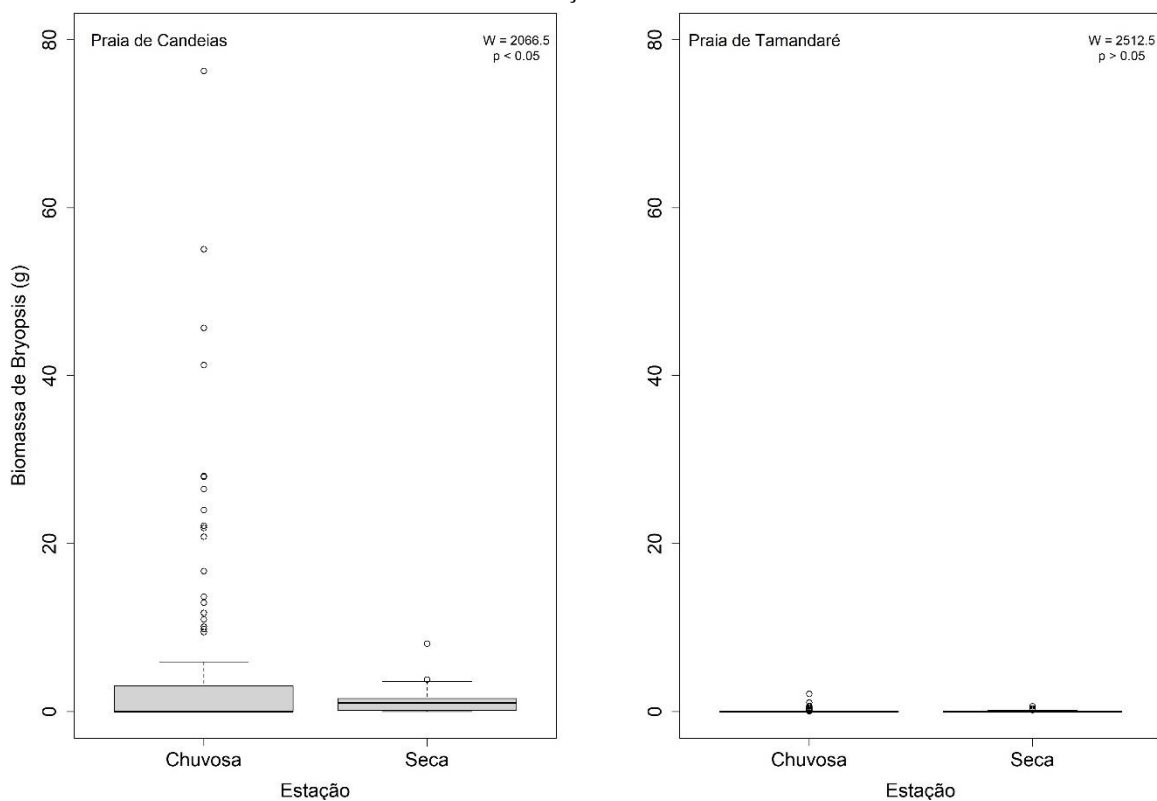
Nota: Algas arribadas na coluna d'água com grande quantidade de *Bryopsis* (A); Algas arribadas na faixa de areia (B).

Apesar dos valores elevados de biomassa do gênero *Bryopsis* na praia de Candeias, em Tamandaré não houve diferença significativa entre as estações para o gênero (Fig. 11). Ao analisar os dados gerais de arribadas da praia de Candeias sem a influência do *bloom* de

Bryopsis, as estações continuaram apresentando diferenças significativas entre si, apontando uma maior ocorrência de algas arribadas durante o período seco (Fig. 12).

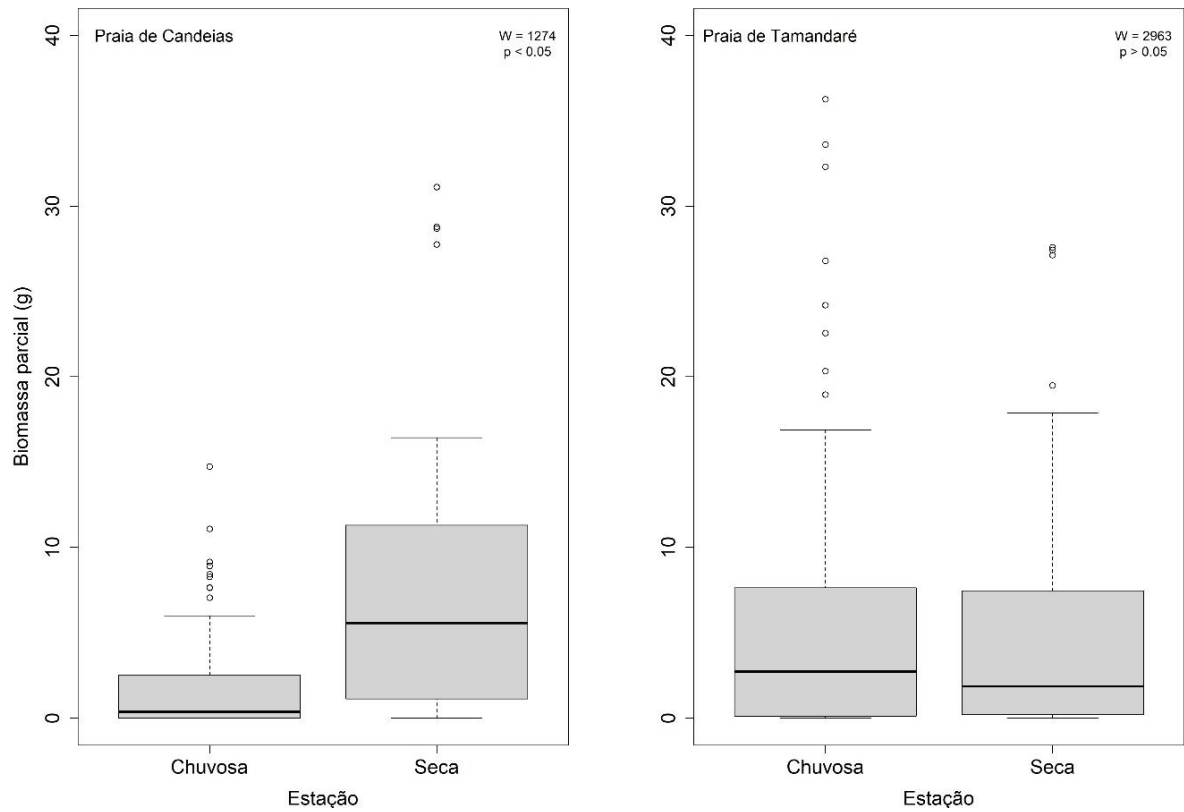
Dentre os 13 gêneros mais abundantes que representaram mais de 1% de biomassa total, com exceção de *Bryopsis*, os gêneros *Dictyopteris* e *Gracilaria* apresentaram as maiores biomassas, ocorrendo em maior quantidade durante a estação seca, enquanto as algas dos gêneros *Alsidium*, *Hypnea*, *Lobophora* e *Sargassum* apresentaram maior biomassa durante o período chuvoso (Fig. 13). Algas calcárias articuladas (*Jania*, *Corallina* e *Amphiroa*) e do gênero *Halimeda* foram pouco frequentes e apresentaram baixos valores de biomassa.

Figura 11 - Distribuição da biomassa (g) do gênero *Bryopsis* nas praias de Candeias e Tamandaré – PE nas estações chuvosa e seca.



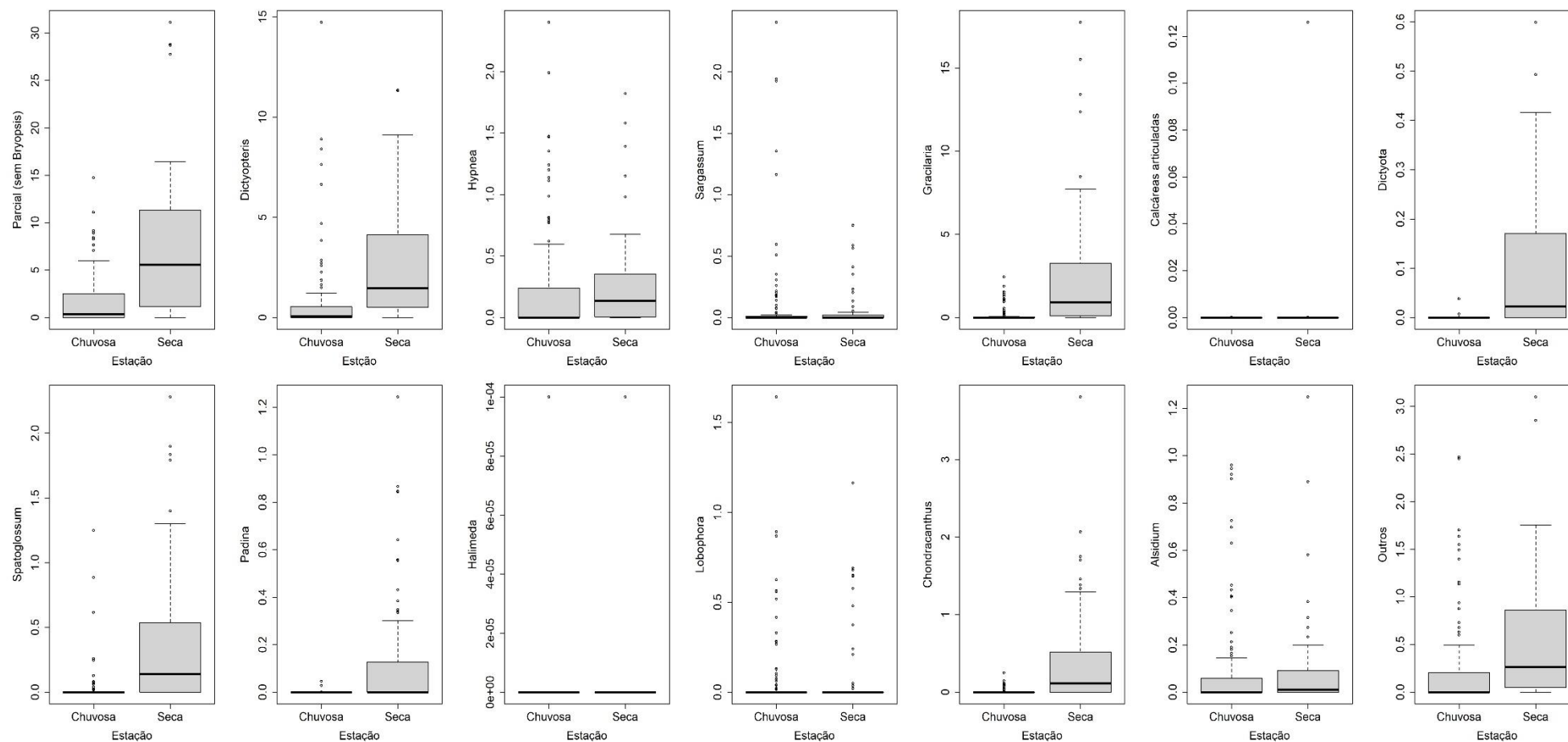
Fonte: O autor, 2022.

Figura 12 - Distribuição parcial da biomassa sem os valores do gênero *Bryopsis* para as estações chuvosa e seca nas praias de Candeias e Tamandaré – PE.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 13 - Distribuição dos dados de biomassa (g) parcial sem *Bryopsis*, soma individual total por gênero e soma dos 28 gêneros com biomassa menor que 1% da biomassa total por estação chuvosa e seca na praia de Candeias - PE.

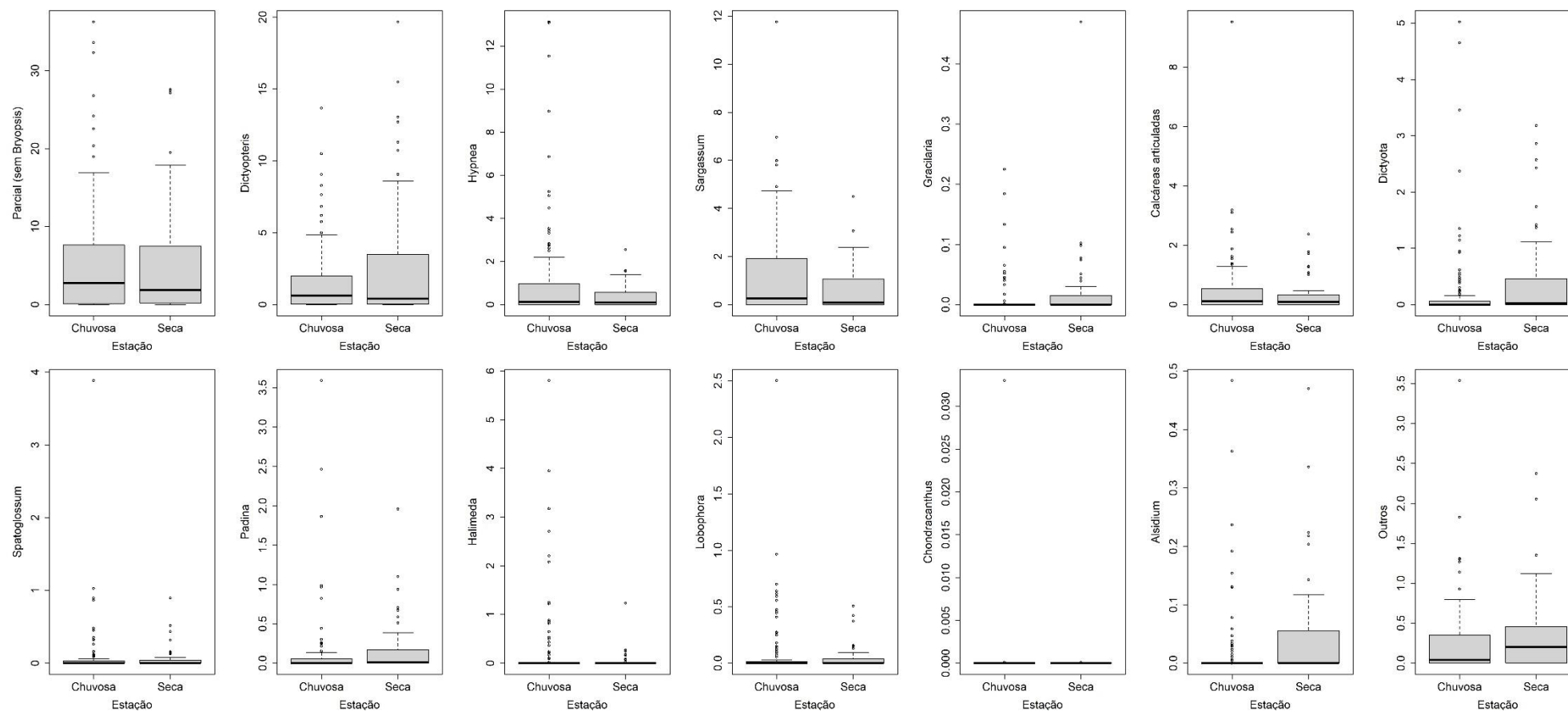


Fonte: O autor, 2022.

Nota: Atenção para os diferentes valores nos eixos Y

Em Tamandaré, os gêneros *Dictyopteris*, *Sargassum* e *Hypnea* apresentaram as maiores biomassas durante todo o estudo, com *Dictyopteris* e *Hypnea* ocorrendo em maior quantidade durante a estação seca e *Sargassum* na estação chuvosa (Fig. 14). As algas calcárias articuladas ocorreram de maneira uniforme entre as estações, apresentando uma biomassa expressiva para o grupo, enquanto as algas calcárias verdes do gênero *Halimeda* sobressaíram em biomassa durante a estação chuvosa, com baixa ocorrência durante a estação seca. As rodofíceas *Gracilaria* e *Chondracanthus* não apresentaram valores expressivos, com baixa ocorrência e pouca biomassa durante todo o estudo.

Figura 14 - Distribuição dos dados de biomassa (g) parcial sem *Bryopsis*, soma individual total por gênero e soma dos 28 gêneros com biomassa menor que 1% da biomassa total por estação chuvosa e seca na praia de Tamandaré - PE.



Fonte: O autor, 2022.

Nota: Atenção para os diferentes valores nos eixos Y.

4.3 Nutrientes

Os valores encontrados para fosfato foram maiores para a praia de Candeias, que variaram de 0,06 a 1,62 $\mu\text{mol/L}$, e em Tamandaré variaram de 0,07 a 0,76 $\mu\text{mol/L}$. O valor médio foi maior em Candeias durante o período chuvoso, enquanto em Tamandaré as estações não se diferenciaram significativamente.

As concentrações de nitrito e nitrato apresentaram diferenças significativas entre as estações na praia de Candeias e entre as praias de Candeias e Tamandaré. Não foi detectada diferença significativa entre as estações em Tamandaré (Tab. 2). As variações de nitrito em Candeias foram de 0,01 a 1,01 $\mu\text{mol/L}$. Em Tamandaré variou de valores indetectáveis a 0,21 $\mu\text{mol/L}$. As maiores concentrações foram aferidas durante os meses da estação seca em ambas as praias, com Candeias apresentando valores médios mais elevados (Tab. 3). Para nitrato, o padrão se repete, tendo Candeias as maiores concentrações do nutriente, de 0,01 a 7,05 $\mu\text{mol/L}$, enquanto Tamandaré apresentou concentração entre 0,01 a 3,47 $\mu\text{mol/L}$. Os valores mais altos se concentraram nos meses do período chuvoso em Candeias, enquanto os valores das estações em Tamandaré não foram significativos para diferenciá-las.

Tabela 2 - Valores médios dos nutrientes fosfato (PO_4^{3-}), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) em $\mu\text{mol/L}$ de acordo com as estações chuvosa e seca nas praias de Candeias e Tamandaré.

	Fosfato (PO_4^{3-})		Nitrito (NO_2^-)		Nitrato (NO_3^-)	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
Candeias	0.36 ± 0.32	0.58 ± 0.47	0.47 ± 0.16	0.30 ± 0.29	3.86 ± 1.31	4.10 ± 1.83
Tamandaré	0.30 ± 0.23	0.27 ± 0.18	0.09 ± 0.08	0.05 ± 0.07	1.27 ± 1.04	1.34 ± 1.30

Fonte: O autor, 2022.

Tabela 3 - Resultado das comparações entre as concentrações de nutrientes nas praias de Candeias (C) e Tamandaré (T) e as estações seca (s) e chuvosa (c).

Fosfato (PO ₄ ³⁻)			Nitrito (NO ₂ -)			Nitrato (NO ₃ -)			
U = 29.967 p < 0.005			U = 158.22 p < 0.005			U = 158.22 p < 0.005			
Cs	Cc	Tc	Cs	Cc	Tc	Cs	Cc	Tc	
Cc	< 0.05		< 0.001			< 0.001			
Tc	-	> 0.005	-	< 0.001		-	< 0.001		
Ts	< 0.001	-	> 0.05	< 0.001	-	> 0.05	< 0.001	-	> 0.05

Fonte: O autor, 2022.

Nota: $\pm$ desvio padrão.

4.4 Fatores meteoceanográficos

Das variáveis meteoceanográficas e seus atrasos temporais testados, as categorias que apresentaram as maiores correlações com a biomassa das arribadas foram: a intensidade dos ventos do dia da coleta (Vento0), a altura das ondas com quatro dias de antecedência (Onda4), o acúmulo de PAR de 2 meses (PAR2) e a média pluviométrica de 30 dias anteriores à coleta (Pluviosidade30) (Tab. 4). Esses intervalos temporais foram selecionados para a criação da CCA em conjunto com os dados químicos de qualidade da água.

Tabela 4 - Resultado da correlação de Spearman com os fatores meteoceanográficos e seus atrasados temporais com a biomassa total de algas arribadas.

Variáveis	rho	p
Vento5	-0.265	1.37E-06
Vento4	-0.165	0.004285
Vento3	-0.265	1.35E-06
Vento2	-0.263	4.42E-06
Vento1	-0.240	1.26E-05
Vento0	-0.300	3.72E-08
Onda5	-0.404	3.48E-14
Onda4	-0.409	1.82E-14
Onda3	-0.293	7.52E-08
Onda2	-0.325	2.00E-09
Onda1	-0.363	1.58E-11
Onda0	-0.311	1.06E-08
PAR2	0.273	6.30E-07
PAR1	0.252	4.50E-06
PAR0	0.253	3.90E-06
Pluviosidade60	-0.284	1.91E-07
Pluviosidade30	-0.403	4.43E-14
Pluviosidade15	-0.187	7.26E-04

Fonte: O autor, 2022.

Nota: Os valores de correlação (rho) e de p mais relevantes estão em negrito.

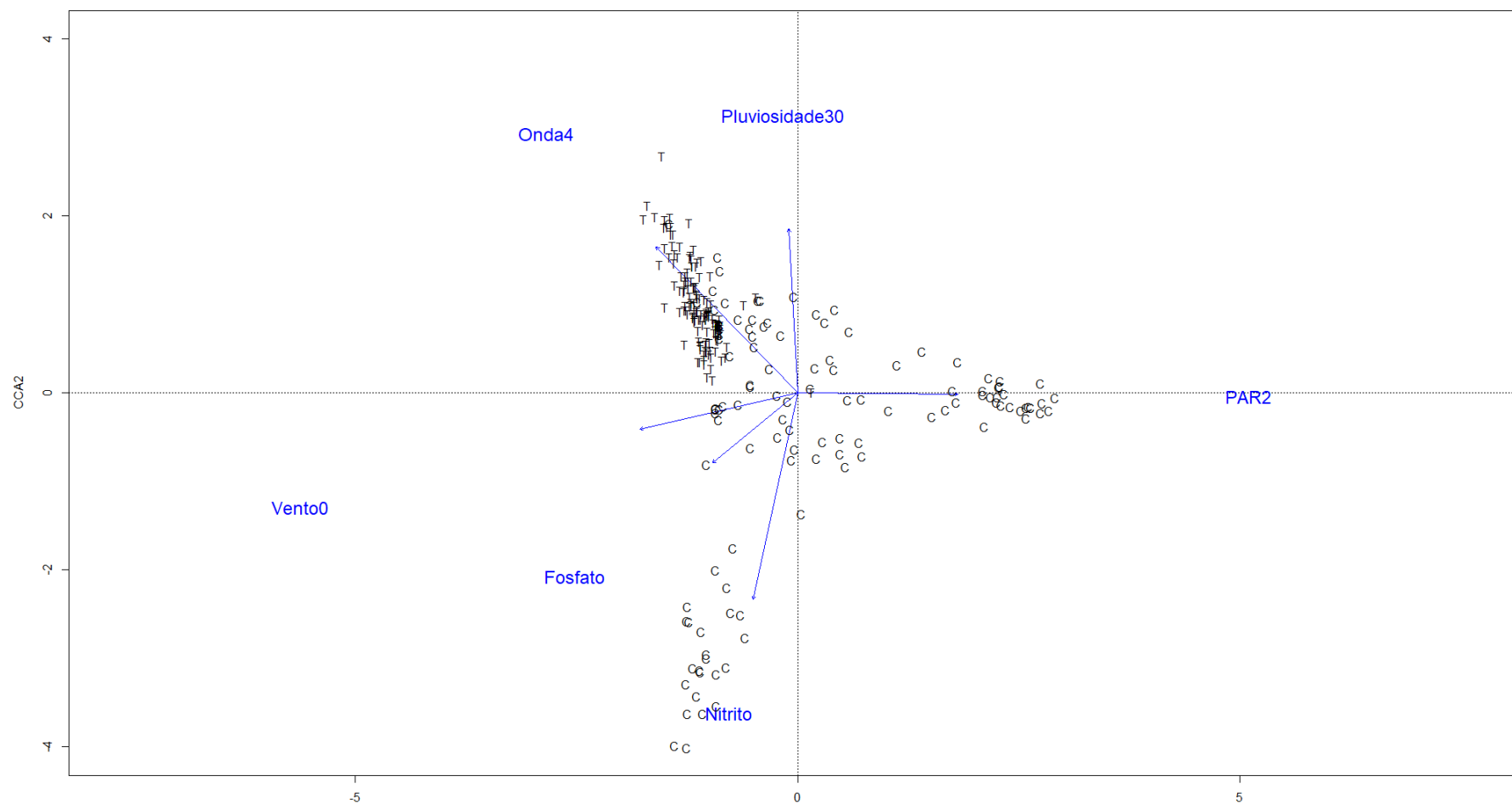
Na componente 1 (CCA1), se destacaram as variáveis PAR (PAR2), intensidade do vento (Vento0) e altura das ondas (Onda4), a primeira variável apresentou uma relação positiva e as outras duas negativas. Para a componente 2 (CCA2), se destacam as variáveis pluviosidade (Pluviosidade30) e altura das ondas que apresentaram relações positivas, e entre as variáveis que apresentaram relações negativas, o nitrito (NO_2^-) se destacou.

A ocorrência das algas arribadas da praia de Candeias apresentou características mais diversas, onde a sua ocorrência pode ser associada a diferentes fatores e em diferentes intensidades. Maior parte da biomassa respondeu aos fatores PAR e nitrito, e em menor escala com as variáveis ventos, onda e pluviosidade. Enquanto a biomassa das algas arribadas de

Tamandaré responde ao fator onda, sendo mais homogênea quanto as suas respostas aos fatores ambientais (Fig. 15).

Os gêneros *Gracilaria*, *Chondracanthus*, *Cladophora* e *Ulva* responderam fortemente aos fatores químicos, destacando a relação dos gêneros com o nitrito, enquanto a variável PAR foi a mais relevante para o aumento da biomassa do gênero *Bryopsis* na praia de Candeias. A altura das ondas e a média pluviométrica acumulada de 30 dias foram as variáveis mais importantes para grande parte dos gêneros, agrupando 26 deles, nesses dois grupos encontram-se as algas calcárias articuladas, *Sargassum*, *Hypnea*, *Padina* e *Lobophora* (Fig. 16).

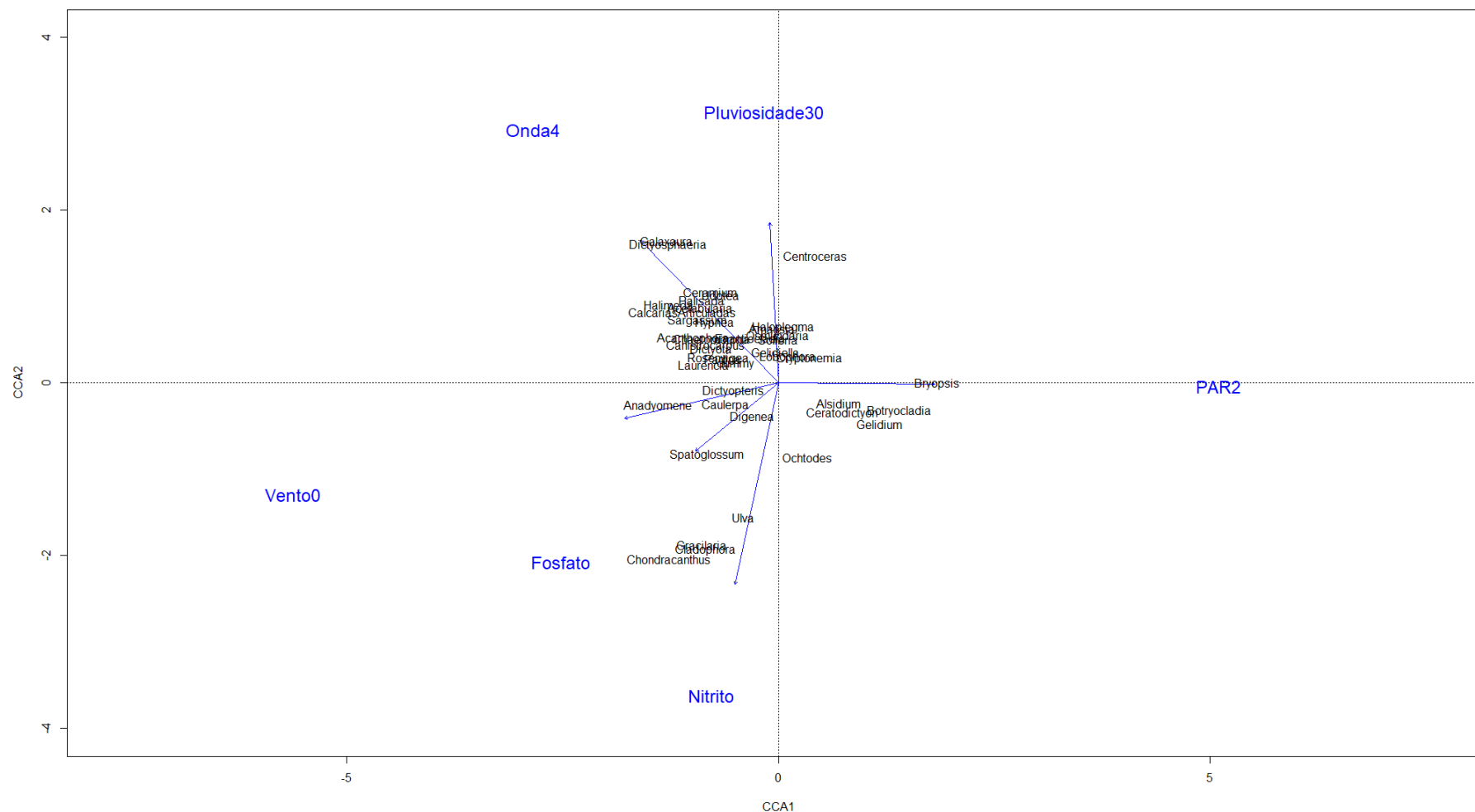
Figura 15 - Análise de Correspondência Canônica (CCA) da biomassa das algas arribadas em função dos fatores meteorocanográficos nas praias de Candeias (C) e Tamandaré (T).



Fonte: O autor, 2022.

Nota: Altura da onda (m) (Onda4); Pluviosidade (Pluviosidade30); Radiação fotossinteticamente ativa (PAR2); Intensidade do vento (Vento0); Fosfato; Nitrito.

Figura 16 - Análise de Correspondência Canônica (CCA) dos 41 gêneros das algas arribadas em função dos fatores meteoceanográficos nas praias de Candeias e Tamandaré (T).



Fonte: O autor, 2022.

Nota: Altura da onda (m) (Onda4); Pluviosidade (Pluviosidade30); Radiação fotossinteticamente ativa (PAR2); Intensidade do vento (Vento0); Fosfato; Nitrito.

Através da análise de Correspondência Canônica (CCA) foi obtida uma resposta de 33% da ocorrência da biomassa de algas arribadas em ambas as praias em função dos fatores meteoceanográficos físicos e químicos. Do total explicado, a CCA1 obteve uma proporção cumulativa de 49% e a CCA2 de 76% (Tab. 5).

Tabela 5 - Resultados da análise de Correspondência Canônica (CCA) entre a biomassa dos gêneros e os fatores meteoceanográficos das praias de Candeias e Tamandaré.

Partitioning of scales chi-quare						
	Inertia	Proporção				
Total	3.342	1				
Constrained	1.128	0.3376				
Unconstrained	2.214	0.6624				
Importância dos Componentes						
	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6
Eigenvalue	0.5566	0.3021	0.1689	0.04834	0.03749	0.01483
Explicação proporcional	0.4933	0.2678	0.1497	0.04284	0.03322	0.01315
Proporção Cumulativa	0.4933	0.7611	0.9108	0.95363	0.98685	1
Biplot scores for constraning variables						
Variáveis	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6
Vento0	-0.5949	-0.1363	-0.7134	-0.0677	-0.3376	-0.0046
Onda4	-0.5341	0.55196	0.5365	0.04222	-0.3347	0.09224
PAR2	0.606	-0.0047	0.3574	-0.6939	-0.1527	-0.0159
Pluviosidade30	-0.0331	0.62046	-0.4622	0.16383	-0.5787	0.19625
Fosfato	-0.3208	-0.2634	-0.1247	0.28728	-0.6545	-0.5489
Nitrito	-0.1674	-0.7783	-0.1115	0.05842	-0.3291	0.492

Fonte: O autor (2022)

5 DISCUSSÃO

No presente estudo, o filo Rhodophyta foi o mais representativo em número de gêneros, seguido dos filios Chlorophyta e Ochrophyta, como já bem descrito por diversos estudos desenvolvidos com algas bentônicas e arribadas em praias do estado de Pernambuco (BARROS, 2013; CAVALCANTI; SÁNCHEZ; FUJII, 2022; OLIVEIRA-FILHO, 1977; REIS, 2012; SOUSA; COCENTINO, 2004) e no Brasil (COCENTINO, 2009; FERREIRA et al., 2020; MARMITT et al., 2015; ROCHA-JORGE, 2010; SZÉCHY et al., 2005). Dos 41 gêneros identificados, 24 deles estão distribuídos entre as ordens Ceramiales, Dictyotales, Ulvales e Bryopsidales, que se destacam por sua elevada riqueza de gêneros e espécies e sua significativa distribuição por todos continentes (WYNNE, 2017). Uma análise florística mais detalhada pode elevar a riqueza de espécies para as algas arribadas das áreas estudadas, em estudo desenvolvido por Cavalcanti (2021) na praia de Candeias foram identificados 68 táxons, 11 pertencendo ao filo Ochrophyta, 48 ao filo Rhodophyta e 8 ao filo Chlorophyta.

As algas da ordem Dictyotales, com destaque para *Dictyopteris* spp., são membros importantes na comunidade de algas arribadas, sendo o grupo de macroalgas que apresenta a maior quantidade de biomassa em diferentes praias do Nordeste e Sudeste brasileiro (CAVALCANTI; SÁNCHEZ; FUJII, 2022). Em outros países, como as regiões que circundam o Mar Vermelho, a temperatura da água pode ultrapassar 33 °C durante o verão e variar de 29 a 31 °C no inverno, lá as algas da ordem Dictyotales, como a *Dictyota* sp. e *Stoechospermum* sp., apresentaram um crescimento expressivo durante o inverno (ATEWEBERHAN; BRUGGEMANN; BREEMAN, 2005), comparando com as temperaturas médias da água das praias de Candeias e Tamandaré durante o período de estudo (26-31 °C no período chuvoso e 28-29 °C no período seco), a temperatura constante da região é propícia para um crescimento constante dessas macroalgas durante todo o ano.

O padrão de ocorrência de algas arribadas é bastante dinâmico, a biomassa encalhada nas praias pode mudar significativamente diariamente (KIRKMAN; KENDRICK, 1997) e entre as variações das marés do mesmo mês (SILVA JR., 2019), e conforme as características específicas das estações climáticas de cada região e eventos anômalos que podem acontecer em qualquer período do ano. Deste modo, as variações de biomassa entre as estações vão estar ligadas a características de cada região estudada. Em estudo desenvolvido por Silva Jr. (op. cit.) em Candeias – PE, as arribadas foram mais abundantes durante o período seco, corroborando com os resultados de Santos et al. (2013) para cinco praias do estado da Bahia onde observaram ocorrência de arribadas restritas aos meses do período seco, enquanto Cavalcanti (2021)

descreveu maior biomassa para o período chuvoso em quatro praias do nordeste, sendo Candeias uma delas.

No presente trabalho foi percebido um aumento significativo da biomassa de algas verdes filamentosas do gênero *Bryopsis* na praia de Candeias, desassociando-se do conceito que se é dado às algas arribadas e caracterizando-se como uma floração de macroalgas. Esses eventos, em sua grande maioria estão relacionados a ambientes impactados por efluentes domésticos e outras fontes de poluição antropogênica (MORAND; BRIAND, 1996). Como já documentado em estudo realizado na região metropolitana do Recife (PE), as algas verdes oportunistas de rápido crescimento são dominantes nos recifes dessa região (VASCONCELOS et al., 2019). Esse grupo tem a capacidade de responder rapidamente aos nutrientes oriundos dos efluentes urbanos, causando uma diminuição da riqueza de espécies ao substituir macroalgas menos tolerantes a esse tipo de estresse (DE PAULA et al., 2020). A ocorrência da floração de *Bryopsis* no início do período chuvoso, sugere que a soma de fatores é responsável pelo desenvolvimento de algas de rápido crescimento. A radiação solar intensa, característica de toda a estação seca, as chuvas do período de transição entre estações carregam nutrientes de origem antrópica para os recifes costeiros (GAO et al., 2017). Esse cenário promoveu, como mostram os resultados, o grande acúmulo de biomassa de algas do gênero *Bryopsis* na praia de Candeias.

A taxa de crescimento das macroalgas pode não acompanhar o aumento dos nutrientes (N e P) que são introduzidos nos ambientes marinhos através dos rios e estuários, sobretudo durante o período chuvoso, no entanto elas conseguem armazenar esses compostos em suas células para serem utilizados quando o ambiente estiver mais apropriado para seu crescimento, ou seja, quando a turbidez da água for reduzida e assim aumentando a taxa fotossintética (VIDOTTI; ROLLEMBERG, 2004).

Com o aumento da concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo), temperaturas mais elevadas e maior incidência solar, esses eventos têm se tornado típicos do verão em regiões da China e Finlândia (BLOMSTER et al., 2002; ZHENG et al., 2022), onde enormes manchas de *Ulva* chegam às regiões costeiras, por vários anos consecutivos. Na região metropolitana do Recife, esses eventos têm sido notados com maior frequência desde o começo da década de 2010. Devido aos efeitos negativos causados pelo acúmulo das algas para a região que depende do turismo de áreas marinhas, os eventos foram reportados por canais de notícias do estado de Pernambuco (FOLHA DE PERNAMBUCO, 2022; G1 PE, 2013, 2017, 2020; JORNAL DO COMMERCCIO, 2015), os eventos tem se repetido durante todos esses anos, sempre entre os meses de período seco e começo do período chuvoso.

A biomassa dos gêneros de algas vermelhas *Chondracanthus* e *Hypnea* foram abundantes na praia de Candeias. Esses gêneros também são reconhecidas como bioindicadoras de ambientes eutrofizados em função de altas taxas de crescimento e rápido ciclo de vida (LAZARIDOU et al., 1997; ORFANIDIS; PANAYOTIDIS; STAMATIS, 2003). Alguns estudos com espécies do gênero *Gracilaria* apontam a capacidade desses organismos de prosperarem em ambientes com valores de nitrogênio mais elevados (BIRD; HABIG; DEBUSK, 1982; DEBOER et al., 1978; LAPOINTE; TENORE; DAWES, 1984; YOKOYA et al., 1999). Essa praia tem influência de diversas fontes de poluição. Além de ser urbanizada, recebe a descarga dos rios Jaboatão e Pirapama, que em estudos anteriores já apontavam níveis significativos de poluição de origem doméstica e industrial (MOREIRA, 2007; NORIEGA et al., 2005), acentuando as características típicas de uma região eutrofizada, corroborando os resultados do presente trabalho que apontaram valores altos de nutrientes (nitrito, nitrato e fosfato) encontrados nas amostras de água.

Ao contrário da praia de Candeias, não foram identificadas florações ou aumento significativo de algas indicadoras de poluição na praia de Tamandaré, que está inserida em três áreas de proteção ambiental marinha. Essas áreas protegidas conferem restrições de acesso e atividade humana, sendo responsável por um ambiente mais equilibrado. Uma dessas restrições é a pesca deliberada em todas as regiões da APA, inclusive de animais herbívoros, responsáveis por controlar o crescimento e a disseminação das algas nos ambientes recifais (RASHER et al., 2012). Além da pesca de herbívoros, a urbanização e turismo desordenado podem causar a eutrofização, diminuição da riqueza de espécies e consequentemente o crescimento descontrolado de algas oportunistas (BURKEPILE; HAY, 2009; HUGHES et al., 1999). O cenário na praia de Tamandaré com menores impactos de turismo, poluição e inserção em APAs, favorecem a saúde dos sistemas costeiros, o que foi refletido na composição e biomassa das algas arribadas. Esses resultados corroboram com o entendimento de que criação de APAs marinhas são de suma importância para o controle de impactos negativos causados por macroalgas, a exemplo dos *blooms* (ASWANI et al., 2007).

Algas calcárias articuladas foram pouco representadas tanto em ocorrência, quanto em biomassa. Essa baixa presença pode estar relacionada à resistência morfológica a ambientes estressados pela ação de ondas, que dificilmente vão se fragmentar ou desprender-se do substrato (ADEY, 2002). Outra hipótese que está relacionada a esse resultado é a taxa de crescimento inferior a de outros grupos de macroalgas, e que estão mais vulneráveis a poluição por diversos poluentes de origens distintas, como metais pesados e fósforo, que podem diminuir

suas taxas de crescimento e fotossíntese (DE'ATH; FABRICIUS, 2010; FISHER; MARTONE, 2014). Essa explicação corrobora com os resultados, uma vez que esse grupo foi registrado com maior biomassa na praia de Tamandaré, que teve maior influência de fatores físicos mecânicos. Enquanto na praia de Candeias (com maiores indicadores de poluição) foi detectado os menores valores de biomassa.

O vento desempenha um papel importante no deslocamento de macroalgas, não apenas conduzindo as correntes de superfície, mas também exercendo um *momentum* direto sobre as macroalgas por atrito definindo a área de arrasto (*windage*) ou direção de deriva (*leeway*) (PUTMAN et al., 2018; SON et al., 2015). Han e colaboradores (2022) modelando os eventos de florações na Baía de Jinmeng no Mar de Bohai na China, notaram substanciais diferenças na distribuição das algas, não apenas na superfície, como nas marés douradas do Atlântico ou marés verdes do Mar Amarelo, mas também distribuída na coluna d'água, dando assim importância para outras componentes de transporte de partículas tanto por vento quanto por correntes.

O vento é um fator ambiental importante no transporte de *Sargassum* na coluna d'água, isso devido sua capacidade de flutuação através dos aerocistos. O maior acúmulo de biomassa dessas algas nas praia de Candeias e Tamandaré ocorreu nos meses do período chuvoso, época em que os ventos estão mais intensos. No Caribe, região fortemente impactada pelos eventos de arribada de *Sargassum* (GARCÍA-SÁNCHEZ et al., 2020), os ventos e ondas são fatores importantes no deslocamento dessas algas flutuantes por longas distâncias até que cheguem nas praias da região, e que pela capacidade de flutuação dessas espécies, não é necessário ventos muito intensos para tais eventos, ventos e onda pouco energéticos são capazes de causar grande eventos de arribadas de *Sargassum* (RUTTEN et al., 2021).

As diferenças ambientais encontradas nas duas praias são refletidas na composição e biomassa das macroalgas arribadas. O agrupamento das amostras de Tamandaré deve-se à homogeneidade ambiental nessa praia ao longo do tempo. É conhecido que ambientes com menos estresse antropogênico apresentam maior estabilidade nas assembleias bentônicas, o que inclui as macroalgas (FRASCHETTI et al., 2013). A composição das algas arribadas em Candeias tem dois grupos que se relacionam com os compostos inorgânicos, provenientes de poluição, e relacionado à radiação solar. Apesar dessa separação, é a soma desses fatores que leva ao aumento das taxas de crescimento de algas indicadoras de poluição (COHEN; FONG, 2004). O valor bruto de biomassa coletado nas duas praias mostra que os processos de rápido crescimento e arribação em Candeias tem forte relação com a poluição. Em contraponto,

Tamandaré registra maior constância desses eventos ao longo do ano, porém com menor intensidade e menos impactos negativos.

Pode-se associar essas diferenças à alteração dos fatores limitantes ao crescimento das algas em Candeias, os valores de biomassa constantes de Tamandaré correspondem a um ambiente preservado, onde não se encontrou picos de disponibilidade desses nutrientes que causassem o crescimento indeterminado de algas oportunistas. A disponibilidade de nitrogênio no ambiente é caracterizada como um fator limitante ao crescimento das macroalgas (MORAND; BRIAND, 1996), controlando seu desenvolvimento e impedindo a supressão que esses organismos podem causar na fauna de ambientes bentônicos, como os recifes de corais (BURKEPILE et al., 2013)

Apesar do caráter natural da ocorrência de algas arribadas, esses eventos podem se intensificar cada vez mais. O aumento populacional e ocupação desordenada do solo em regiões costeiras tem causado impactos irreversíveis a diversidade de macroalgas e outros organismos (SCHERNER et al., 2013; SUSHINSKY et al., 2013). Os eventos estão sempre relacionados a fatores ambientais locais, onde a poluição dos corpos d'água desempenha um papel chave no aumento da biomassa de espécies oportunistas (TEWARI; JOSHI, 1988). Além das mudanças na saúde dos recifes causados por impactos locais, quando associados com as mudanças climáticas globais os impactos serão ainda maiores (HARLEY et al., 2012), como recifes dominados por macroalgas resistentes a acidificação dos oceanos (DIAZ-PULIDO et al., 2011) e florações de microalgas nocivas (GOBLER, 2020). As grande florações monoespecíficas de macroalgas já ocorrem anualmente em diversas regiões (SMETACEK; ZINGONE, 2013). Os impactos nos ambientes litorâneos são observados pela comunidade científica e de tomadores de decisões, é importante que os eventos de algas arribadas também sejam monitorados, uma vez que são respostas ambientais às mudanças locais e globais.

6 CONCLUSÕES

Algas arribadas são eventos naturais de origem dinâmica, suas causas podem estar associadas a diferentes fatores físicos meteoceanográficos ou relacionada aos impactos ambientais de origem antrópica.

A ocorrência das algas arribadas não está restrita a uma estação climática mesmo em praias do mesmo estado, em Candeias a estação seca apresentou a maior biomassa, enquanto Tamandaré não houve diferença entre as duas estações.

A diferença na biomassa das arribadas entre as praias de Candeias e Tamandaré diferenciam os níveis de preservação e urbanização entre ambos os locais. A composição e biomassa das algas arribadas de Candeias apontam níveis mais elevados de poluição de origem urbana, isso devido ao aumento da biomassa das algas nitrófilas dos gêneros *Cladophora*, *Ulva*, *Chondracanthus* e *Gracilaria*, e *blooms* frequentes do gênero *Bryopsis*.

A praia de Tamandaré apresenta uma composição mais estável, onde a biomassa das algas está fortemente relacionada a forças mecânicas, como ventos e ondas.

As algas da ordem Dictyotales, com ênfase no gênero *Dictyopteris*, desempenharam papel chave na composição e biomassa das algas arribadas das praias de Candeias e Tamandaré.

Com o avanço da urbanização costeira, poluição de rios e as diversas consequências das mudanças climáticas nos oceanos, se faz mais necessário do que nunca estudos focados nas algas arribadas. Esses eventos poderão ser utilizados para indicar poluição, alterações na composição das algas bentônicas e qualidade ambiental.

O presente trabalho é um dos primeiros a relacionar amostragens quantitativas com dados meteoceanográficos para a região gerando subsídios para modelagens ecossistêmicas. Os dados e discussões presentes gerou dados históricos da dinâmica de arribadas e servirá de linha base para comparações e monitoramento frente a mudanças ambientais locais e climáticas globais e suas possíveis influência nesses complexos eventos.

REFERÊNCIAS

ADEY, W. Coral reefs: Algal structured and mediated ecosystems in shallow, turbulent, alkaline waters. **Journal of Phycology**, v. 34, p. 393–406, 5 set. 2002.

ASWANI, S. et al. Customary management as precautionary and adaptive principles for protecting coral reefs in Oceania. **Coral Reefs**, v. 26, n. 4, p. 1009, 3 ago. 2007.

ATEWEBERHAN, M.; BRUGGEMANN, J. H.; BREEMAN, A. M. Seasonal patterns of biomass, growth and reproduction in Dictyota cervicornis and Stoechospermum polypodioides (Dictyotales, Phaeophyta) on a shallow reef flat in the southern Red Sea (Eritrea). v. 48, n. 1, p. 8–17, 1 jan. 2005.

BARBOT, Y. N.; AL-GHAILI, H.; BENZ, R. A Review on the Valorization of Macroalgal Wastes for Biomethane Production. **Marine Drugs**, v. 14, n. 6, p. 120, jun. 2016.

BARROS, N. C. G. **Algas marinhas bentônicas como bioindicadoras da qualidade ambiental em área recifal de Tamandaré, Pernambuco, Brasil**. doctoralThesis—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 29 jul. 2013.

BAST, F.; JOHN, A. A.; BHUSHAN, S. Cladophora goensis sp. nov. (Cladophorales, Ulvophyceae) –a bloom forming marine algae from Goa, India. **INDIAN J. MAR. SCI.**, v. 44, p. 6, 2015.

BECK, H. E. et al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, n. 1, p. 180214, 18 dez. 2018.

BIRD, K. T.; HABIG, C.; DEBUSK, T. Nitrogen Allocation and Storage Patterns in Gracilaria Tikvahiae (rhodophyta)1. **Journal of Phycology**, v. 18, n. 3, p. 344–348, 1982.

BLOMSTER, J. et al. Novel morphology in Enteromorpha (Ulvophyceae) forming green tides. **American Journal of Botany**, v. 89, n. 11, p. 1756–1763, 2002.

BORBA, A. L. S. **Estudos sedimentológicos, morfodinâmicos e da vulnerabilidade das praias da Piedade, Candeias e Barra das Jangadas - Municípios do Jaboatão do Guararapes**. Dissertação de Mestrado—[s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 1999.

BRASIL. Decreto nº 013/2003, de 10 de setembro de 2003. 10 set. 2003.

BRASIL. 89. Instrução Normativa 89, de 02 de fevereiro de 2006. 2006, p. 4.

BURKEPILE, D. E. et al. Nutrient supply from fishes facilitates macroalgae and suppresses corals in a Caribbean coral reef ecosystem. **Scientific Reports**, v. 3, n. 1, p. 1493, 20 mar. 2013.

BURKEPILE, D. E.; HAY, M. E. Nutrient versus herbivore control of macroalgal community development and coral growth on a Caribbean reef. **Marine Ecology Progress Series**, v. 389, p. 71–84, 4 set. 2009.

CAVALCANTI, M. I. L. G. **Macroalgas arribadas da costa brasileira: biodiversidade e potencial de aproveitamento**. Tese de doutorado—São Paulo, SP: Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2021.

CAVALCANTI, M. I. L. G.; SÁNCHEZ, P. M. G.; FUJII, M. T. Comparison of the diversity and biomass of beach-cast seaweeds from NE and SE Brazil. **European Journal of Phycology**, v. 0, n. 0, p. 1–10, 5 jan. 2022.

COCENTINO, A. DE L. M. **Flora ficologica da plataforma continental do litoral setentrional da bacia potiguar (RN), Brasil, com ênfase em chlorophyta**. Tese de doutorado—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 31 jan. 2009.

COHEN, R. A.; FONG, P. Physiological responses of a bloom-forming green macroalga to short-term change in salinity, nutrients, and light help explain its ecological success. **Estuaries**, v. 27, n. 2, p. 209–216, 1 abr. 2004.

DE MACEDO, E. C. **Um ensaio sobre a sedimentação e suas implicações ecológicas nos recifes costeiros da baía de Tamandaré/PE**. Dissertação de Mestrado—[s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

DE PAULA, J. C. et al. Long-term changes in macroalgae assemblages reveal a gradual biodiversity loss over the last 200 years in the hypereutrophic Guanabara Bay. **Marine Environmental Research**, v. 162, p. 105153, 1 dez. 2020.

DE'ATH, G.; FABRICIUS, K. Water quality as a regional driver of coral biodiversity and macroalgae on the Great Barrier Reef. **Ecological Applications**, v. 20, n. 3, p. 840–850, 2010.

DEBOER, J. A. et al. Nutritional Studies Of Two Red Algae. I. Growth Rate As A Function Of Nitrogen Source And Concentration. **Journal of Phycology**, v. 14, n. 3, p. 261–266, set. 1978.

DEFEO, O. et al. Threats to sandy beach ecosystems: A review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 81, n. 1, p. 1–12, 1 jan. 2009.

DIAZ-PULIDO, G. et al. High CO₂ enhances the competitive strength of seaweeds over corals. **Ecology Letters**, v. 14, n. 2, p. 156–162, 2011.

DUGAN, J. E. et al. The response of macrofauna communities and shorebirds to macrophyte wrack subsidies on exposed sandy beaches of southern California. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Beaches - What Future? v. 58, p. 25–40, 10 out. 2003.

FAHY, E. et al. Eutrophication of a partially enclosed estuarine mudflat. **Marine Pollution Bulletin**, v. 6, n. 2, p. 29–31, 1 fev. 1975.

FERREIRA, G. et al. Algas arribadas da Praia do Pacheco, Ceará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, p. 208–214, 1 abr. 2020.

FISHER, K.; MARTONE, P. T. Field Study of Growth and Calcification Rates of Three Species of Articulated Coralline Algae in British Columbia, Canada. **The Biological Bulletin**, v. 226, n. 2, p. 121–130, abr. 2014.

FOLHA DE PERNAMBUCO. **Causa da mancha escura na praia de Candeias é identificada pela prefeitura**. Portal de Notícias. Disponível em: <<https://www.folhape.com.br/noticias/mancha-escura-no-mar-de-jaboatao-foi-identificada/217606/>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

FONG, P.; PAUL, V. J. Coral Reef Algae. Em: DUBINSKY, Z.; STAMBLER, N. (Eds.). **Coral Reefs: An Ecosystem in Transition**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011. p. 241–272.

FRASCHETTI, S. et al. Protection Enhances Community and Habitat Stability: Evidence from a Mediterranean Marine Protected Area. **PLOS ONE**, v. 8, n. 12, p. e81838, 11 dez. 2013.

G1 PE. **No Recife, mancha no mar é acúmulo de algas, afirma Capitania dos Portos**. Portal de Notícias. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2013/02/no-recife-mancha-no-mar-e-acumulo-de-algas-afirma-capitania-dos-portos.html>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

G1 PE. **Mancha escura é vista no mar do Grande Recife**. Portal de Notícias. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pernambuco/noticia/capitania-dos-portos-investiga-mancha-escura-no-mar-do-grande-recife.ghml>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

G1 PE. **Fenômeno maré verde enche praia de algas chamadas de “alface-do-mar” e assusta banhistas em Olinda**. Portal de Notícias. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2020/01/09/fenomeno-mare-verde-enche-praia-de-algas-chamadas-de-alface-do-mar-e-assusta-banhistas-em-olinda.ghml>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

GAO, G. et al. Intrinsic and extrinsic control of reproduction in the green tide-forming alga, *Ulva rigida*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, p. 14–22, 1 jul. 2017.

GARCÍA-SÁNCHEZ, M. et al. Temporal changes in the composition and biomass of beached pelagic Sargassum species in the Mexican Caribbean. **Aquatic Botany**, v. 167, p. 103275, 1 out. 2020.

GAVIO, B.; MANCERA-PINEDA, J. E. Florecimientos de algas verdes efímeras en la isla de San Andrés, Reserva Internacional de Biosfera Seaflower, Caribe suroccidental. **Revista Acta Biologica Colombiana**, v. 20, n. 2, p. 259–263, 1 maio 2015.

GIANASI, B. L. et al. **Utilização de LANDSAT-TM no estudo de uma floração de macroalgas de deriva.pdf**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Em: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Curitiba, PR, Brasil: 30 maio 2011. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/2130/Utiliza%c3%a7%c3%a3o%20de%20LANDSAT-TM%20no%20estudo%20de%20uma%20flora%c3%a7%c3%a3o%20de%20macroalgas%20de%20deriva.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 6 abr. 2022

GLOOR, M. et al. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 9, p. 1729–1733, 2013.

GOBLER, C. J. Climate Change and Harmful Algal Blooms: Insights and perspective. **Harmful Algae**, Climate change and harmful algal blooms. v. 91, p. 101731, 1 jan. 2020.

GOECKE, F. R.; IMHOFF, J. F. Microbial biodiversity associated with marine macroalgae and seagrasses. Em: OLAFSSON, E. (Ed.). Boca Raton, Fla., USA: CRC Press, 2016. p. 3–25.

GÓMEZ-HERNÁNDEZ, M. et al. In vitro antifungal activity screening of beach-cast seaweeds collected in Yucatan, Mexico. **Journal of Applied Phycology**, v. 33, n. 2, p. 1229–1237, 1 abr. 2021.

GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. (EDS.). **Methods of Seawater Analysis**. 3rd Completely Revised and Enlarged edição ed. Weinheim ; New York: Wiley VCH, 1999.

GREEN-GAVRIELIDIS, L. A. et al. Bloom-forming macroalgae (*Ulva* spp.) inhibit the growth of co-occurring macroalgae and decrease eastern oyster larval survival. **Marine Ecology Progress Series**, v. 595, p. 27–37, 14 maio 2018.

GREGER, M.; MALM, T.; KAUTSKY, L. Heavy metal transfer from composted macroalgae to crops. **European Journal of Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 257–265, 1 abr. 2007.

HAN, X. et al. Numerical Modeling of a Green Tide Migration Process with Multiple Artificial Structures in the Western Bohai Sea, China. **Applied Sciences**, v. 12, n. 6, p. 3017, jan. 2022.

HARB, T. B. et al. Antioxidant activity and related chemical composition of extracts from Brazilian beach-cast marine algae: opportunities of turning a waste into a resource. **Journal of Applied Phycology**, v. 33, n. 5, p. 3383–3395, 1 out. 2021.

HARB, T. B.; CHOW, F. An overview of beach-cast seaweeds: Potential and opportunities for the valorization of underused waste biomass. **Algal Research**, v. 62, p. 102643, 1 mar. 2022.

HARLEY, C. D. G. et al. Effects of Climate Change on Global Seaweed Communities. **Journal of Phycology**, v. 48, n. 5, p. 1064–1078, 2012.

HOAGLAND, P. et al. The economic effects of harmful algal blooms in the United States: Estimates, assessment issues, and information needs. **Estuaries**, v. 25, n. 4, p. 819–837, 1 ago. 2002.

HUGHES, T. et al. Algal blooms on coral reefs: what are the causes? **Limnology and Oceanography**, v. 44, p. 1583–1586, 1999.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Panorama das cidades do Brasil**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/tamandare/panorama>>. Acesso em: 21 jun. 2022.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação a Biodiversidade. **Plano de Manejo da APA Costa dos Corais. Tamandaré-PE**, 1, 74p. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/apacostadoscorais/images/stories/plano_de_manejo/PM_APACC_2013_JANEIRO.pdf. 2012.

JEFFREY, D. W. et al. Nutrient sources for in-shore nuisance macroalgae: The Dublin Bay case. **Ophelia**, v. 42, n. 1, p. 147–161, 1 set. 1995.

JORNAL DO COMMERCCIO. **Tapete verde cobre o mar em Boa Viagem**. Portal de Notícias. Disponível em: <<https://jc.ne10.uol.com.br/canal/cidades/cienciamambiente/noticia/2015/05/24/tapete-verde-cobre-o-mar-em-boia-viagem-182458.php>>. Acesso em: 21 jul. 2022.

- KIRKMAN, H.; KENDRICK, G. A. Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beach-cast macro-algae and seagrasses in Australia: a review. **Journal of Applied Phycology**, v. 9, n. 4, p. 311–326, 1 ago. 1997.
- KOLBE, K. et al. Macroalgal mass development in the Wadden Sea: First experiences with a monitoring system. **Helgoländer Meeresuntersuchungen**, v. 49, n. 1, p. 519–528, 1 mar. 1995.
- LAPOINTE, B. E.; TENORE, K. R.; DAWES, C. J. Interactions between light and temperature on the physiological ecology of *Gracilaria tikvahiae* (Gigartinales: Rhodophyta). **Marine Biology**, v. 80, n. 2, p. 161–170, 1 jun. 1984.
- LAZARIDOU, E. et al. Impact of eutrophication on species composition and diversity of macrophyte on the Gulf of Thessaloniki, Macedonia, Greece. **Fresenius Environmental Bulletin**, 1997.
- LEÃO, Z. M. DE A. N. **Morphology, Geology And Developmental History Of The Southernmost Coral Reefs Of Western Atlantic, Abrolhos Bank, Brazil**. Florida: University of Miami, 1982.
- LITTLER, D. S.; LITTLER, M. M. **Caribbean reef plants**. Washington, D. C: OffShore Graphics, 2000.
- LITTLER, M. M.; LITTLER, D. S. Models of tropical reef biogenesis: the contribution of algae. 1984.
- LITTLER, M. M.; LITTLER, D. S. Structure and role of algae in tropical reef communities. 1988.
- LODEIRO, P. et al. Aluminium removal from wastewater by refused beach cast seaweed. Equilibrium and dynamic studies. **Journal of Hazardous Materials**, v. 178, n. 1, p. 861–866, 15 jun. 2010.
- LOUIME, C.; FORTUNE, J.; GERVAIS, G. Sargassum Invasion of Coastal Environments: A Growing Concern. **American journal of environmental sciences**, v. 13, p. 58–64, 6 fev. 2017.
- MAIDA, M.; FERREIRA, B. Coral Reefs of Brazil: Overview and Field Guide. **Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium**, v. 1, p. 263–274, 1 jan. 1997.
- MARMITT, D. et al. Avaliação quali-quantitativa de algas marinhas macrófitas ocorrentes na Praia da Vigia, Garopaba/SC. 10 dez. 2015.
- MCCOMB, A. J.; HUMPHRIES, R. Loss of Nutrients from Catchments and Their Ecological Impacts in the Peel-Harvey Estuarine System, Western Australia. **Estuaries**, v. 15, n. 4, p. 529, dez. 1992.
- MONTOYA, J. Nitrogen Stable Isotopes in Marine Environments. Em: **Nitrogen in the Marine Environment**. [s.l: s.n.]. p. 1277–1302.
- MORAND, P.; BRIAND, X. Excessive Growth of Macroalgae: A Symptom of Environmental Disturbance. v. 39, n. 1–6, p. 491–516, 1 jan. 1996.

MOREIRA, H. A. **Diagnóstico da qualidade ambiental da Bacia do Rio Jaboatão: sugestão de enquadramento preliminar.** masterThesis. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5640>>. Acesso em: 21 jul. 2022.

NELSON, T. A.; NELSON, A. V.; TJOELKER, M. Seasonal and Spatial Patterns of “Green Tides” (Ulvoid Algal Blooms) and Related Water Quality Parameters in the Coastal Waters of Washington State, USA. v. 46, n. 3, p. 263–275, 30 abr. 2003.

NKEMKA, V. N.; ARENALES-RIVERA, J.; MURTO, M. Two-Stage Dry Anaerobic Digestion of Beach Cast Seaweed and Its Codigestion with Cow Manure. **Journal of Waste Management**, v. 2014, p. e325341, 17 jul. 2014.

NORIEGA, C. E. D. et al. Fluxos de nutrientes inorgânicos dissolvidos em um estuário tropical – Barra das Jangadas – PE, Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 33, n. 2, 30 dez. 2005.

OKSANEN, J. et al. **vegan: Community Ecology Package.** [s.l.: s.n.].

OLIVEIRA-FILHO, E. C. D. **Algas marinhas bentônicas do Brasil.** text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 15 abr. 1977.

ORFANIDIS, S.; PANAYOTIDIS, P.; STAMATIS, N. An insight to the ecological evaluation index (EEI). **Ecological Indicators**, v. 3, n. 1, p. 27–33, 1 abr. 2003.

OVIATT, C. A. et al. What nutrient sources support anomalous growth and the recent sargassum mass stranding on Caribbean beaches? A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 145, p. 517–525, ago. 2019.

PIRIZ, M. L.; EYRAS, M. C.; ROSTAGNO, C. M. Changes in biomass and botanical composition of beach-cast seaweeds in a disturbed coastal area from Argentine Patagonia. p. 8, 2003.

POHLERT, T. **PMCMRplus: Calculate Pairwise Multiple Comparisons of Mean Rank Sums Extended.** [s.l.: s.n.].

PUTMAN, N. F. et al. Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. **Progress in Oceanography**, v. 165, p. 205–214, 1 jul. 2018.

RAFFAELLI, D. G.; RAVEN, J. A.; POOLE, L. Ecological Impact of Green Macroalgal Blooms. Em: **Oceanography And Marine Biology: An Annual Review.** [s.l.] CRC Press, 1998. v. 36.

RASHER, D. B. et al. Effects of herbivory, nutrients, and reef protection on algal proliferation and coral growth on a tropical reef. **Oecologia**, v. 169, n. 1, p. 187–198, maio 2012.

REIS, T. N. DE V. **Biodiversidade de macroalgas: uma ferramenta indicadora de tensores ambientais na região do complexo portuário de suape, Pernambuco, Brasil.** Tese de doutorado—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 31 jan. 2012.

ROCHA-JORGE, R. **Diversidade de macroalgas marinhas bentônicas do Parque Estadual Marinho da Laje de Santos, SP, Brasil.** São Paulo: Instituto de Botânica de São Paulo, 2010.

- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R. E. et al. Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum. **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 201–205, 1 set. 2019.
- RUTTEN, J. et al. Beaching and Natural Removal Dynamics of Pelagic Sargassum in a Fringing-Reef Lagoon. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 126, n. 11, p. e2021JC017636, 2021.
- RYTHER, J. H. The Sargasso Sea. **Scientific American**, v. 194, n. 1, p. 98–108, 1956.
- SANTOS, G. DO N. et al. 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**, v. 38, p. 13–24, 1 dez. 2013.
- SCHERNER, F. et al. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 76, n. 1, p. 106–115, 15 nov. 2013.
- SCHRAMM, W.; BOOTH, W. Mass Bloom of the Alga *Cladophora prolifera* in Bermuda: Productivity and Phosphorus Accumulation. v. 24, n. 8, p. 419–426, 1 jan. 1981.
- SFRISO, A. et al. Macroalgae, nutrient cycles, and pollutants in the Lagoon of Venice. **Estuaries**, v. 15, n. 4, p. 517, 1 dez. 1992.
- SILVA, D. M. S. DA. **Estudo do processo adsorptivo de cádmio por Algas Arribadas**. Dissertação de mestrado—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 31 jan. 2010.
- SILVA JR., C. P. DA. **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, 2019.
- SISSINI, M. N. et al. The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean – likely scenarios. **Phycologia**, v. 56, n. 3, p. 321–328, 1 maio 2017.
- SMETACEK, V.; ZINGONE, A. Green and golden seaweed tides on the rise. **Nature**, v. 504, n. 7478, p. 84–88, dez. 2013.
- SMIT, A. J. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review. **Journal of Applied Phycology**, v. 16, n. 4, p. 245–262, ago. 2004.
- SON, Y. B. et al. Tracing floating green algae blooms in the Yellow Sea and the East China Sea using GOCI satellite data and Lagrangian transport simulations. **Remote Sensing of Environment**, v. 156, p. 21–33, 1 jan. 2015.
- SOUSA, G. S. DE; COCENTINO, A. DE L. M. Macroalgas como Indicadoras da Qualidade Ambiental da Praia de Piedade – PE. **Tropical Oceanography**, v. 32, n. 1, 30 jun. 2004.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2nd Edition**. 2nd edição ed. [s.l.] Fisheries Research Board of Canada, 1972.
- SUN, S. et al. Emerging challenges: Massive green algae blooms in the Yellow Sea. **Nature Precedings**, p. 1–1, 10 set. 2008.

SUSHINSKY, J. R. et al. How should we grow cities to minimize their biodiversity impacts? **Global Change Biology**, v. 19, n. 2, p. 401–410, 2013.

SWAP, R. et al. Saharan dust in the Amazon Basin. **Tellus B**, v. 44, n. 2, p. 133–149, abr. 1992.

SZÉCHY, M. T. M. DE et al. Levantamento florístico das macroalgas da baía de Sepetiba e adjacências, RJ: ponto de partida para o Programa GloBallast no Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 587–596, set. 2005.

TEWARI, A.; JOSHI, H. V. Effect of Domestic Sewage and Industrial Effluents on Biomass and Species Diversity of Seaweeds. **Botanica Marina**, v. 31, n. 5, p. 389–398, 1988.

THOMPSON, T. M.; YOUNG, B. R.; BAROUTIAN, S. Pelagic Sargassum for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study on Barbados. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 118, p. 109564, 1 fev. 2020.

VASCONCELOS, E. R. T. P. P. et al. Macroalgal responses to coastal urbanization: relative abundance of indicator species. **Journal of Applied Phycology**, v. 31, n. 2, p. 893–903, 1 abr. 2019.

VIDOTTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. DO C. E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. **Química Nova**, v. 27, p. 139–145, fev. 2004.

WANG, C.; YU, R.; ZHOU, M. Acute toxicity of live and decomposing green alga *Ulva* (Enteromorpha) prolifera to abalone *Haliotis discus hannai*. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v. 29, n. 3, p. 541–546, 1 maio 2011.

WANG, M. et al. The great Atlantic *Sargassum* belt. **Science**, v. 365, n. 6448, p. 83–87, 5 jul. 2019.

WELLS, M. L. et al. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 2, p. 949–982, 2017.

WYNNE, M. J. **A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical Western Atlantic: fourth revision**. Stuttgart: J. Cramer in Borntraeger Science Publishers, 2017.

XIAO, J. et al. Harmful macroalgal blooms (HMBs) in China's coastal water: Green and golden tides. **Harmful Algae**, v. 107, p. 102061, 1 jul. 2021.

YOKOYA, N. S. et al. Effects of environmental factors and plant growth regulators on growth of the red alga *Gracilaria vermiculophylla* from Shikoku Island, Japan. **Hydrobiologia**, v. 398, n. 0, p. 339–347, 1 abr. 1999.

ZÁRATE, R. et al. Pharmacological and Cosmeceutical Potential of Seaweed Beach-Casts of Macaronesia. **Applied Sciences**, v. 10, n. 17, p. 5831, jan. 2020.

ZHENG, L. et al. What causes the great green tide disaster in the South Yellow Sea of China in 2021? **Ecological Indicators**, v. 140, p. 108988, 1 jul. 2022.

ZHOU, F. et al. The Lagrangian-based Floating Macroalgal Growth and Drift Model (FMGDM v1.0): application to the Yellow Sea green tide. **Geoscientific Model Development**, v. 14, n. 10, p. 6049–6070, 11 out. 2021.