



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
DEPARTAMENTO DE SISTEMÁTICA E ECOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA)**

**COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS ASSOCIADOS A DIFERENTES  
ESPÉCIES DE MACROALGAS RECIFAIS E ESTUARINAS NO NORDESTE  
BRASILEIRO**

**RAFAELA CRISTINA DE SOUZA DUARTE**

João Pessoa – PB

2019

**RAFAELA CRISTINA DE SOUZA DUARTE**

Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Zoologia, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), como requisito para adquirir o grau de Doutora em Ciências Biológicas (Zoologia).

**Orientadora:** Profa. Dra. Thelma Lúcia Pereira Dias

**Coorientadora:** Profa. Dra. Silvia Vendruscolo Milesi

**Linha de Pesquisa:** Ecologia de Ecossistemas e Comunidades

João Pessoa – PB

2019

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

D812c Duarte, Rafaela Cristina de Souza.

Comunidade de Macroinvertebrados Associados a  
Diferentes Espécies de Macroalgas Recifais e Estuarinas  
no Nordeste Brasileiro / Rafaela Cristina de Souza  
Duarte. - João Pessoa, 2019.

121 f. : il.

Orientação: Thelma Lúcia Pereira Dias.

Coorientação: Silvia Vendruscolo Milesi.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

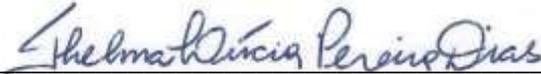
1. Macroinvertebrados. 2. Estuário. 3. Complexidade  
Estrutural. 4. Sazonalidade. 5. Micromoluscos. 6.  
Diversidade Funcional. I. Dias, Thelma Lúcia Pereira.  
II. Milesi, Silvia Vendruscolo. III. Título.

UFPB/BC

**RAFAELA CRISTINA DE SOUZA DUARTE**

**COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS ASSOCIADOS A DIFERENTES  
ESPÉCIES DE MACROALGAS RECIFAIS E ESTUARINAS NO NORDESTE  
BRASILEIRO**

BANCA EXAMINADORA



---

**Profa. Dra. Thelma Lúcia Pereira Dias**

Universidade Estadual da Paraíba

Orientadora



---

**Profa. Dra. Silvia Vendruscolo Milesi**

Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões

Coorientadora



---

**Prof. Dr. Miodeli Nogueira Júnior**

Universidade Federal da Paraíba

Examinador Interno

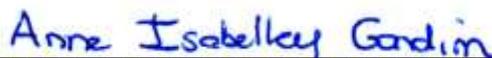


---

**Prof. Dr. Sérgio de Farias Lopes**

Universidade Estadual da Paraíba

Examinador Externo



---

**Profa. Dra. Anne Isabelley Gondim**

Universidade Federal da Paraíba

Examinador Externo



---

**Profa. Dra. Marisa de Oliveira Apolinário**

Universidade Federal de Campina Grande

Examinador Externo

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.** Localização das áreas de estudo no Nordeste brasileiro (a). Imagens de satélite do Rio da Casqueira, Macau, Rio Grande do Norte (b) e recifes da Praia do Seixas, João Pessoa, Paraíba (c).....29
- Figura 2.** Espécies de macroalgas estudadas nos ambientes recifal e estuarino: (a) *Sargassum polyceratum*, (b) *Padina gymnospora*, (c) *Bryothamnion triquetrum*, (d) *Solieria filiformis*, (e) *Gracilaria cuneata* e (f) *Gracilaria domingensis*.....32
- Figura 3.** Desenho esquemático de uma alga ilustrando alguns dos parâmetros analisados para verificar a complexidade estrutural da alga.....33
- Figura 4.** Valores médios ( $\pm$ DP) dos atributos morfológicos (A) e valores médios ( $\pm$ DP) da complexidade do habitat nas macroalgas recifais (B). Códigos dos atributos na tabela 1.....36
- Figura 5.** Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos morfológicos, das macroalgas recifais estudadas. Códigos dos atributos na tabela 1.....37
- Figura 6.** Modelo de ordenação multidimensional não métrica (MDS) indicando a disposição das réplicas das macroalgas recifais estudadas em relação à abundância de macroinvertebrados associados.....38
- Figura 7.** Abundância dos principais taxa de macroinvertebrados associados às três espécies de macroalgas recifais estudadas.....38
- Figura 8.** Correlação entre a complexidade do habitat e a abundância de macroinvertebrados nas três espécies de macroalgas recifais estudadas.....39
- Figura 9.** Modelo de ordenação multidimensional não métrico (MDS) indicando a disposição das réplicas das macroalgas recifais estudadas em relação à abundância de moluscos.....39
- Figura 10.** (A) Abundância de indivíduos, (B) número de espécies, (C) riqueza de espécies de Margalef e (D) diversidade de Shannon-Wiener da malacofauna associada às três espécies de macroalgas recifais estudadas.....40
- Figura 11.** Algumas espécies de moluscos registradas nas algas recifais estudadas: a) *Astyris lunata*, b) *Eulithidium affine*, c) *Anachis lyrata*, d) *Bittium varium*, e) *Parvanachis obesa*, f) *Schwartziella catesbyana*.....41

<b>Figura 12.</b> Correlação entre a abundância de moluscos e a complexidade do habitat nas macroalgas recifais estudadas.....	42
<b>Figura 13.</b> Média de tamanho da malacofauna associada às três espécies de macroalgas recifais estudadas.....	42
<b>Figura 14.</b> Correlação entre a complexidade do habitat e o tamanho médio dos moluscos encontrados nas três espécies de macroalgas recifais estudadas.....	43
<b>Figura 15.</b> Valores médios ( $\pm$ DP) dos atributos morfológicos analisados A); valores médios ( $\pm$ DP) de complexidade do habitat B), nas macroalgas estuarinas. Códigos dos atributos na tabela 1.....	44
<b>Figura 16.</b> Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos morfológicos, das macroalgas estuarinas analisadas. Códigos dos atributos na tabela 1.....	45
<b>Figura 17.</b> Modelo de ordenação multidimensional não métrica (MDS) indicando a disposição das réplicas das macroalgas estuarinas estudadas em relação a abundância de macroinvertebrados associados.....	45
<b>Figura 18.</b> Abundância dos principais taxa de macroinvertebrados associados às três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.....	46
<b>Figura 19.</b> Correlação entre complexidade do habitat e a abundância de macroinvertebrados associados às macroalgas estuarinas.....	46
<b>Figura 20.</b> (A) Abundância de indivíduos, (B) número de espécies, (C) riqueza de espécies de Margalef e (D) diversidade de Shannon-Wiener da malacofauna associada às três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.....	47
<b>Figura 21.</b> Algumas espécies de moluscos registradas nas algas estuarinas a) <i>Parvanachis obesa</i> , b) <i>Alaba incerta</i> , c) <i>Bittiolium varium</i> d) <i>Anachis lyrata</i> , e) <i>Schwartziella catesbyana</i> , f) <i>Turbonilla fasciata</i> , g) <i>Cerithium atratum</i> , h) <i>Anomalocardia flexuosa</i> , i) <i>Eulithidium affine</i> , j) <i>Neritina virginea</i> , l) <i>Botula fusca</i> , m) <i>Anomalocardia flexuosa</i> , n) <i>Leptopecten bavayi</i> , o) <i>Sphenia fragilis</i> , p) <i>Elysia</i> sp., q) <i>Aplysia</i> sp., r) <i>Oxynoea</i> sp., s) <i>Caecum johnsoni</i> , t) <i>Caecum ryssotitum</i> , u) <i>Astralium latispina</i> .....	49
<b>Figura 22.</b> Correlação entre complexidade do habitat (A) e a abundância de moluscos nas três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.....	50
<b>Figura 23.</b> Média de tamanho da malacofauna associada às três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.....	50
<b>Figura 24.</b> Correlação entre complexidade do habitat e o tamanho médios moluscos nas três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.....	51

## CAPÍTULO II

<b>Figura 1.</b> Localização das áreas de estudo no Nordeste brasileiro (a). Estado do Rio Grande do Norte (b) e Rio da Casqueira, Macau (C).....	64
<b>Figura 2.</b> Espécies de macroalgas estudadas no ambiente estuarino: (A) <i>Solieria filiformis</i> , (B) <i>Gracilaria cuneata</i> e (C) <i>Gracilaria domingensis</i> .....	65
<b>Figura 3.</b> Desenho esquemático de uma alga ilustrando alguns dos parâmetros analisados para verificar a complexidade estrutural do talo a partir de sua estrutura morfológica.....	66
<b>Figura 4.</b> Valores médios ( $\pm$ DP) dos atributos morfológicos nas três espécies de macroalgas estuarinas estudadas, nos períodos sazonais seco e chuvoso. Códigos dos atributos na tabela 1.....	68
<b>Figura 5.</b> Valores médios ( $\pm$ DP) da complexidade do habitat nas três espécies macroalgais estudados nos períodos sazonais seco e chuvoso.....	69
<b>Figura 6.</b> Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos morfológicos nas três espécies de macroalgas estuarinas estudadas, nos períodos sazonais seco e chuvoso.....	69
<b>Figura 7.</b> Abundância geral de macroinvertebrados das três espécies de macroalgas estuarinas estudadas, nos períodos sazonais seco e chuvoso.....	70
<b>Figura 8.</b> Relação entre a abundância de macroinvertebrados com a complexidade nos períodos seco e chuvoso.....	71
<b>Figura 9.</b> Relação entre as espécies macroalgais e abundância de macroinvertebrados em ambos os períodos estudados.....	71
<b>Figura 10.</b> (A) Abundância de indivíduos, (B) número de espécies, (C) riqueza de espécies de Margalef e (D) diversidade de Shannon-Wiener da malacofauna nos períodos seco e chuvoso no estuário do Rio da Casqueira, Macaú, Rio Grande do Norte.....	72
<b>Figura 11.</b> Relação entre a abundância de moluscos com a complexidade nos períodos seco e Chuvoso.....	73
<b>Figura 12.</b> Relação entre as espécies macroalgais e abundância de macroinvertebrados em ambos os períodos.....	73
<b>Figura 13.</b> Algumas espécies de moluscos registradas nas algas estuarinas nos períodos seco e chuvoso a) <i>Caecum johnsoni</i> , b) <i>Turbonilla fasciata</i> , c) <i>Alaba incerta</i> , d) <i>Anomalocardia flexuosa</i> , e) <i>Bittiolium varium</i> , f) <i>Parvanachis obesa</i> , g) <i>Leptopecten bavay</i> , h) <i>Neritina virginea</i> , i) <i>Boonea jadidi</i> .....	74
<b>Figura 14.</b> Tamanho médio dos molucos associadas as macroalgas estuarinas nos períodos seco e chuvoso.....	75

<b>Figura 15.</b> Relação entre a o tamanho dos moluscos com a complexidade nos períodos seco e Chuvoso.....	75
<b>Figura 16.</b> Relação entre as espécies macroalgais e o tamanhos dos moluscos em ambos os períodos.....	76

### CAPÍTULO III

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo no Nordeste brasileiro (A). Estado do Rio Grande do Norte (B) Rio da Casqueira, Macau (C).....	88
<b>Figura 2.</b> Espécies de macroalgas estudadas no ambiente estuarino: (A) <i>Solieria filiformis</i> , (B) <i>Gracilaria cuneata</i> , (C) <i>Gracilaria domingensis</i> .....	90
<b>Figura 3.</b> Desenho esquemático de uma alga ilustrando alguns dos atributos morfológicos utilizados para verificar a complexidade estrutural da alga.....	91
<b>Figura 4.</b> Valores médios ( $\pm$ DP) dos atributos morfológicos analisados nas macroalgas estuarinas estudadas. Códigos dos atributos na tabela 1.....	94
<b>Figura 5-</b> Número de espécies de moluscos e seus respectivos traços funcionais analisados nas macroalgas: A) Tamanho do corpo; B) Estratégia alimentar; C) Tempo de vida; D) Modo de vida; E) desenvolvimento larval F) fecundidade, G) Postura de ovos.....	96
<b>Figura 6.</b> Valores de Riqueza Funcional (A) e Diversidade Funcional (B), nas três espécies de algas estudadas.....	96
<b>Figura 7.</b> Composição de traços funcionais da comunidade de moluscos de acordo com a morfologia das macroalgas estudadas.....	98
<b>Figura 8.</b> Representatividade dos traços funcionais mais influenciados pela morfologia das três espécies de macroalgas estudadas.....	97
<b>Figura 9.</b> Correlação entre os traços funcioanais da comunidade de moluscos e as variaveis morfologicas das especies de macroalgas estudadas.....	99

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1.</b> Atributos morfológicos analisados nas seis espécies estudadas nos recifes da Praia do Seixas e no estuário do Rio da Casqueira.....	33
<b>Tabela 2.</b> Resultados dos testes de variância para tamanho médio dos moluscos associados as três espécies de macroalgas recifais estudadas.....	43
<b>Tabela 3.</b> Resultados dos testes de variância para tamanho médio dos moluscos associados as três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.....	51

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1.</b> Atributos algais analisados nas seis espécies estudadas nos recifes da praia do Seixas e no estuário do Rio da Casqueira.....	66
--	----

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 1.</b> Atributos morfológicos analisados nas três espécies de algas estudadas no estuário do Rio da Casqueira, Nordeste, Brasil.....	90
<b>Tabela 2.</b> Traços funcionais da comunidade molusco analisados nas três espécies de algas estudadas no estuário do Rio da Casqueira, Nordeste, Brasil.....	92

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	15
<b>1.1. Complexidade do habitat macroalgal</b> .....	16
<b>1.2. Sazonalidade do habitat macroalgal</b> .....	17
<b>1.3. Diversidade de traços funcionais no habitat algal</b> .....	18
<b>2. ESTRUTURA DA TESE</b> .....	19
<b>3. REFERÊNCIAS</b> .....	21

<b>CAPÍTULO I - Influência da complexidade do habitat sobre os macroinvertebrados associados a diferentes espécies de macroalgas recifais e estuarinas no Nordeste brasileiro</b> .....	26
---	----

<b>RESUMO</b> .....	26
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	27
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
2.1. Áreas de estudo.....	29
2.2. Trabalho de campo e processamento das frondes.....	31
2.3. Espécies macroalgais: caracterização da estrutura e complexidade do habitat.....	32
2.4. Análises dos dados.....	34
<b>3. RESULTADOS</b> .....	35
3.1. Ambiente recifal.....	35
3.2. O ambiente estuarino.....	43
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	52
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	55

<b>CAPÍTULO II - Influência da sazonalidade sobre a fauna de macroinvertebrados associados a diferentes espécies de macroalgas recifais e estuarinas</b> .....	61
--	----

<b>RESUMO</b> .....	61
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	62
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	63
2.1. Área de estudo.....	63
2.2. Período amostral e processamento das macroalgas.....	64
2.3. Caracterização das macroalgas e sua estrutura.....	65
2.4. Análise dos dados.....	66

<b>3. RESULTADOS</b> .....	68
3.1. Estrutura das macroalgas.....	68
3.2. Composição da comunidade de macroinvertebrados nos períodos sazonais.....	70
3.3. Composição da comunidade de moluscos nos dois períodos sazonais.....	72
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	77
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	80

<b>CAPÍTULO III - Influência da morfologia macroalgal na estrutura funcional da comunidade de moluscos em um estuário hipersalino</b> .....	84
--	----

<b>RESUMO</b> .....	84
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	85
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	87
2.1. Área de estudo.....	87
2.2. Trabalho de campo e processamento das frondes macroalgais.....	88
2.3. Caracterização das macroalgas e sua morfologia.....	89
2.4. Composição de traços funcionais da comunidade de moluscos.....	91
2.5. Análise dos dados.....	93
<b>3. RESULTADOS</b> .....	94
3.1. Estrutura morfológica das macroalgas.....	94
3.2. Composição dos traços funcionais da comunidade de moluscos entre as três espécies de macroalga estudadas.....	95
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	100
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	103
<b>7. APÊNDICES</b> .....	109

## DEDICATÓRIA

*Ao meu pai, Severino do Ramo Duarte (in memoriam), por sempre me ensinar que a educação é o melhor caminho.*

*A Maria José de Souza Duarte (minha mãe) que nunca mediu esforços para me conduzir pelos caminhos do saber.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, que me concedeu o dom da vida e a benção de chegar até aqui. A todos aqueles que participaram direta e indiretamente desta caminhada árdua e recompensadora, bem como desse esforço individual e, ao mesmo tempo coletivo que é fazer um trabalho de tese.

Aos meus familiares, que apesar de muitas vezes não compreenderem de fato em que consistia meu trabalho sempre me apoiaram incondicionalmente. Em especial sou grata a minha mãe Maria José de Souza Duarte por todo apoio, per pai e mãe ao mesmo tempo, a minha vó Antônia Cabral, pelo exemplo de mulher e ser humano lindo. A Danilo Arruda, meu amado marido, pela paciência, dedicação, por suportar todos os momentos de ausência e ajudar nos momentos de dificuldades e nos obstáculos que surgiram nessa caminhada. Aos meus sobrinhos Davi e Kaleu, que sempre foram um alívio para minhas angústias, tornando as coisas mais leves. Em especial ao mais velho deles Gabriel, pelas conversas e chatices que eu sei que são puras demonstrações de amor.

A minha orientadora Thelma Lúcia Pereira Dias, pelas suas contribuições para a minha formação, nesses quase dez anos de caminhada acadêmica. A minha coorientadora Silvia Milesi, por me dar todo o suporte necessário, apesar da grande distância física ela se fez presente, sempre me ajudando a construir este trabalho. acadêmico. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (zoologia). Agradeço ao apoio financeiro da CAPES pela bolsa concedida.

A Luis Carlos (Pop), pelas ajudas nas coletas de campo e todo o apoio logístico. A Dona Dalci e Sr. Belo pela receptividade e hospitalidade, sempre nos recebendo em sua casa com carinho. Aos colegas de doutorado em especial a Ellori Mota e Romilda Narcisa, por todos os momentos compartilhados durante esses quatro anos de doutorado. Aos companheiros de pesquisa do Labmar, em especial a Daiane, Linaldo e Graci, pela ajuda na triagem do material. A Débora Barbosa, pela ajuda nas coletas e triagens do material. Ao colega Leidson Alan pela identificação das macroalgas estudadas. Aos meus amigos da vida Carina, Claudia, Renata e Rosinete, Eugenio, Davi, Daiana e Jackeline pelas conversas e momentos de confraternização. A minha amiga Aluska que apesar da distância, sempre tinha uma palavra amiga em um momento de angústia. A Samara, minha amiga de longas datas por sempre se fazer presente, muitas vezes me descontraindo nos momentos de estresse.

## General Abstract

Macroalgae are considered essential components in marine and estuarine ecosystems because they support a range of associated organisms. Habitat complexity and seasonality may influence the abundance of benthic macroinvertebrates. Macroalgal communities have their life cycles marked by temporal changes, including succession and seasonality. Studies about functional richness and functional diversity indices seek to understand the ecological roles developed by species and their interaction with the environment. In this context, the present study aims to verify the influence of the complexity of macroalgae on the associated invertebrate communities in a reef and hypersaline estuarine and understand the seasonal variations of these communities and how they are functionally structured. The research was conducted in the hypersaline estuary of Rio da Casqueira and on the reefs of Praia do Seixas, northeastern Brazil. The following questions guided this research: i) Is there influence of the habitat complexity offered by macroalgae on the composition, abundance, richness and diversity of macroinvertebrates and on the molluscs size? ii) Does the macroinvertebrate community associated with macroalgae in the estuarine environment and the size of mollusks differ to dry and rainy seasons? and iii) Is there a difference in the functional diversity and functional richness of the shellfish community in relation to the complexity of macroalgae? In both environments the most abundant macroinvertebrate groups were Amphipoda, Polychaeta, Echinodermata e Mollusca. The malacofauna was predominantly composed of micromolluscs (0.20 to 4.50 mm in length), most of them when adults do not exceed 10 mm. It was observed that in the estuarine environment there was a greater variation in the macroalgae morphology, and a difference in macrofauna abundance in the two seasonal periods analyzed. Therefore, it is suggested that both habitat complexity and seasonality affect the richness, diversity and abundance of associated communities. Besides that The positive influence of macroalgal complexity on the structure of the mollusc community and its composition of functional traits was observed, pointing out the relevance of macroalgal microhabitats and their associated organisms in the structuring of trophic chains of marine and estuarine ecosystems;

**Keywords:** Macroinvertebrates, Estuary, Structural Complexity, Seasonality, Micromolluscs, Functional Diversity

## RESUMO GERAL

As macroalgas são consideradas componentes essenciais nos ecossistemas nos quais estão inseridas, já que suportam uma gama de organismos associados. Tanto a complexidade do habitat, quanto a sazonalidade também pode influenciar na abundância de macroinvertebrados participantes do fital. Estudos baseados em índices de riqueza e diversidade funcionais buscam compreender os papéis ecológicos desenvolvidos pelas espécies e sua interação com o meio no qual estão inseridas. Nesse contexto, o presente estudo tem por objetivo verificar a influência da complexidade das macroalgas sobre as comunidades de invertebrados associados a elas em um ambiente recifal e outro estuarino hipersalino. Assim como, entender as variações sazonais dessas comunidades e como elas estão funcionalmente estruturadas, verificando para isso, se há diferença na diversidade e na riqueza funcional da comunidade de moluscos. A pesquisa foi desenvolvida no estuário hipersalino do Rio da Casqueira e nos Recifes da Praia do Seixas, Nordeste do Brasil. As seguintes perguntas nortearam esta pesquisa: i) Existe influência da complexidade do habitat oferecido pelas macroalgas na composição, abundância, riqueza e diversidade de macroinvertebrados e no tamanho dos moluscos? ii) A comunidade de macroinvertebrados associada às macroalgas no ambiente estuarino e o tamanho dos moluscos diferem no que diz a respeito às épocas de seca e chuva? e, iii) Há diferença na diversidade e riqueza funcionais da comunidade de moluscos em relação a complexidade das macroalgas? Observou-se que os grupos mais abundantes nesse tipo de micro-habitat são semelhantes nos ecossistemas estudados (recife e estuário), sendo eles: Amphipoda, Polychaeta, Echinodermata e Mollusca. Além disso, a malacofauna foi composta predominantemente por micromoluscos (0,20 a 4,50 mm de comprimento). Constatou-se também, que no ambiente estuarino houve uma maior variação na morfologia das macroalgas, e uma diferença na abundância da macrofauna nos dois períodos sazonais analisados. Por tanto, sugere-se que tanto a complexidade do habitat quanto a sazonalidade afetam a riqueza, diversidade e abundância das comunidades associadas. Assim, fica evidente a relevância dos microhabitats macroalgais e seus organismos associados na estruturação das cadeias tróficas dos ecossistemas marinhos e estuarinos.

**Palavras-chave:** Macroinvertebrados, Estuário, Complexidade Estrutural, Sazonalidade, Micromoluscos, Diversidade Funcional.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas marinhos possuem grande importância biológica, principalmente por serem sistemas dotados de alta produtividade e elevada biodiversidade (DE VASCONCELOS REIS et al., 2011). Nesses ambientes, um dos fatores limitantes à sobrevivência de organismos é a disponibilidade de substrato (DAYTON, 1971). Por isso, muitos indivíduos, atuam como ‘engenheiros’ de ecossistemas, dando suporte para sobrevivência de uma gama de outros organismos vivos. Nesse sentido, as macroalgas configuram-se como um destes organismos bentônicos fundadores (GESTOSO et al., 2013). Elas também atuam na estruturação de cadeias tróficas marinhas; já que funcionam como produtores primários, e, portanto, na transferência de energia proveniente da produção primária para diversos níveis tróficos superiores (TAYLOR, 1998).

Diversos tipos de macroalgas podem se aglomerar, formando os chamados “*Bancos de Macroalgas*”, que aumentam a biocomplexidade dos ecossistemas onde estão presentes (BULLERI et al., 2006; KOVALENKO; THOMAZ; WARFE, 2012). Os referidos bancos são considerados importantes componentes dos ambientes marinhos e estuarinos, dado que suportam uma variedade de organismos associados como algas epífitas e animais sésseis ou móveis (CHRISTIE; NORDERHAUG; FREDRIKSEN, 2009). Esse conjunto de organismos associados é denominado “*fital*” (REMANE, 1933). Eles utilizam as macroalgas como locais de refúgio, alimentação, além de proteção contra fatores estressores como: dessecação por exposição na maré baixa, ventos e variações de temperatura e salinidade (DAYTON, 1971; TANO et al., 2016). Dentre os grupos de invertebrados mais representativos, nesse tipo de micro-habitat, estão os moluscos, como demonstrado em muitos estudos em ambientes costeiros (ALVES; ARAÚJO, 1999; CACABELOS et al., 2010; CHEMELLO; MILAZZO, 2002; DUARTE et al., 2015; DUARTE; MOTA; DIAS, 2014) e estuarinos (QUEIROZ; DIAS, 2014).

A composição desses habitats macroalgais forma uma paisagem subaquática de alta heterogeneidade, ofertando assim, uma elevada complexidade de habitat ao ambiente marinho (TOKESHI; ARAKAKI, 2012). A complexidade de habitat disponibilizada pelas macroalgas pode afetar de maneira direta a composição em termos de riqueza e abundância da comunidade associada (CHEMELLO; MILAZZO, 2002). Do mesmo modo, as variações sazonais as quais os ambientes estão sujeitos também podem interferir (CHRISTIE et al., 2009).

Tendo em vista que os grupos funcionais diferem em suas necessidades e preferências de habitat, sua presença e abundância podem ser fortemente influenciadas pela complexidade

do habitat em questão (CHITTARO, 2004; CURLEY; KINGSFORD; GILLANDERS, 2002). Por isso, observa-se também que, as relações ecológicas desempenhadas pelos organismos associados as algas e seus traços funcionais possam estar relacionados com a oferta de diferentes escalas de complexidade de habitat para estes. Decorre daí, a importância de se entender melhor os fatores estruturantes dos ambientes macroalgais e sua fauna associada.

Este estudo tem o objetivo principal de verificar a influência da complexidade das macroalgas sobre as comunidades de invertebrados associados a elas em um ambiente recifal e outro estuarino hipersalino, visa ainda, entender as variações sazonais dessas comunidades e como elas estão funcionalmente estruturadas, verificando, para tanto, se há diferença na diversidade e na riqueza funcional da comunidade de moluscos.

### **1.1. Complexidade do habitat macroalgal**

O termo complexidade de habitat é uma unidade de análise que foca no espaço, em um *locus*. Ele parte da análise de um determinado sítio de alocação e sobrevivência para um grupo de organismos e seus fatores físicos estruturantes como: área superficial, ramificações, reentrâncias, rugosidades e escavações (KOVALENKO et al., 2012).

Esse termo pode ser referido de diversas formas na literatura, como por exemplo: “heterogeneidade do substrato”, “complexidade topográfica” e “arquitetura do habitat”. Essa variação de termos e definições e a falta de padronização de métricas podem ser fatores que limitam o entendimento dos aspectos gerais da complexidade do habitat em diversos tipos de ambientes (ST PIERRE; KOVALENKO, 2014).

Habitats mais complexos apresentam conseqüentemente uma maior oferta de diferentes tipos de micro-habitats para alocação de grupos de organismos distintos, em diferentes escalas espaciais, propiciando assim, uma maior disponibilidade de nichos. Isto gera um aumento na abundância, na riqueza e na diversidade de organismos, influenciando de forma direta a distribuição de espécies; já que proporcionam uma maior exploração de recursos disponíveis para a fauna associada (CARVALHO; LOIOLA; BARROS, 2017; SMITH; JOHNSTON; CLARK, 2014).

A influência da complexidade do habitat sobre a estrutura e composição de diferentes comunidades marinhas tem sido abordada por diversos estudos em escala mundial, tendo o ambiente marinho seu devido destaque (KOSTYLEV et al., 2005; MATIAS et al., 2010

MATIAS, 2013; REICHSTEIN et al., 2013; MATIAS. et al., 2015; MAYER-PINTO; MATIAS; COLEMAN, 2016; SMITH et al., 2014; TANO et al., 2016).

Na visão de alguns autores (e.g. KOVALENKO et al., 2012; THOMAZ, et al. 2008), o ambiente aquático é tido como ideal para realização de pesquisas relacionadas a complexidade de habitat; uma vez que nele, a estrutura física do habitat é crucial para o estabelecimento e ou mobilidade de organismos e para a disponibilidade de partículas alimentares.

A presente investigação é essencial, pois buscou corroborar a importância do estudo da complexidade de habitat em ambientes marinhos e estuarinos, assim como, comprovar a influência que o habitat exerce sobre suas comunidades associadas, como forma de demonstrar padrões ecológicos de riqueza e diversidade para variados grupos de macroinvertebrados marinhos.

## **1.2. Sazonalidade do habitat macroalgal**

As macroalgas são organismos que apresentam, em sua maioria, ciclos de vida curtos, com duração de alguns meses ou anos, a depender do grupo a que pertencem, constituindo, portanto, habitats com duração limitada. As comunidades de macroalgas são caracterizadas por mudanças temporais que incluem sucessão e sazonalidade, que englobam ciclos de vida curtos e muitas vezes alta diversidade em determinadas épocas do ano (CHRISTIE et al., 2009). No presente estudo, são avaliadas macroalgas do tipo filamentosas, com ciclos de vida curto, muitas das vezes, atrelados aos períodos sazonais de seca e chuva encontrados nos ambientes em questão (LUCENA, 2012).

Essas, geralmente, desprendem-se do substrato por ação de ventos e/ou maré e são levadas (arribadas) periodicamente. Conseqüentemente, seu fital também sofre com a efemeridade desse microhabitat, tendo que desenvolver estratégias de sobrevivência e reprodução para aproveitar o curto período de estabilidade concedido pelo habitat macroalgal (CHRISTIE et al., 2009). Os indivíduos associados as macroalgas também sofrem as ações das mudanças ambientais provenientes dos períodos sazonais, que alteram fatores abióticos como salinidade e temperatura, em determinadas épocas do ano, principalmente, devido a estreita relação de interdependência com o habitat (DEAN; CONNELL, 1987; NODA; MINAMIURA; MIYAMOTO, 2003).

De uma forma semelhante, ocorre a influência dessa sazonalidade sobre processos ecológicos como recrutamento, abundância de predadores, disponibilidade de alimento. Esses

podem ser geradores de mudanças na abundância e na diversidade de comunidades bênticas em estações sazonais distintas (BA-AKDAH; SATHEESH; AL-SOFYANI, 2016). Isso decorre, principalmente, devido a estrita relação que as macroalgas mantêm com as comunidades marinhas, estruturando-as e disponibilizando espaço físico para sua alocação e coexistência (BULLERI et al., 2006).

Percebe-se, que ao contrário de habitats entremarés em climas temperados e subtropicais, manguezais e ambientes recifais tropicais são submetidos à sazonalidade distinta no que diz respeito à precipitação. Tipicamente, os manguezais tropicais apresentam poucos meses de ocorrência de chuva, seguidos por vários meses de período seco (ALONGI, 1987). Os efeitos sazonais causados por esses períodos ainda são pouco estudados no que diz respeito à comunidade bentônica.

No Brasil, alguns estudos abordaram o efeito da sazonalidade sobre a fauna associada a macroalgas, porém, a maioria deles está focado no ambiente marinho, especialmente praias rochosas (LEITE; TAMBOURGI; CUNHA, 2009; LEITE; TURRA, 2003). Esses trabalhos apontam para uma variação marcante na densidade média de diversos táxons associados a bancos de macroalgas de acordo com os períodos de seca e chuva. Portanto, estudos desta natureza tornam-se essenciais para o entendimento da estruturação ecológica dos ambientes estuarinos.

### **1.3. Diversidade de traços funcionais no habitat algal**

Os estudos de diversidade funcional estão ganhando cada vez mais espaço em investigações na área de ecologia. Segundo Petchey; Gaston (2006), isso se deve, principalmente, a potencial relação entre a diversidade funcional e o funcionamento e manutenção de processos que estruturam as diferentes comunidades. O estudo de diversidade funcional busca entender como as espécies se comportam no ambiente que habitam e o quanto isso influencia a comunidade e o ecossistema como um todo. Por isso, configura-se como sendo o valor e a variação das espécies e de suas características que influenciam o funcionamento das comunidades inseridas em determinados ecossistemas (TILMAN et al., 1997).

Nessa direção, à medida em que analisa-se a diversidade funcional de uma determinada comunidade, procura-se estimar a diferença entre esses organismos com base nas suas características funcionais e não filogenéticas (CIANCIARUSO; SILVA; BATALHA, 2009). O conceito ecológico de diversidade funcional ainda é muito controverso, uma vez que muitos

trabalhos apresentam um conhecimento intuitivo e divergente (DÍAZ; CABIDO, 2001; PETCHEY; GASTON, 2006). Percebe-se que, a literatura não apresenta um consenso com relação as formas de mensurar a diversidade funcional e muitos a quantificam de diferentes (eg. PETCHEY; GASTON, 2006; BREMNER et al. 2006; BREINE et al. 2018).

Devido a importância das frondes macroalgais como elementos estruturantes nas comunidades marinhas, considera-se importante compreender os padrões estruturantes dessas comunidades, assim como, as funcionalidades ecológicas desenvolvidas por elas e por seus organismos associados. Assim, se faz necessário entender a importância deste habitat nos ambientes marinhos e estuarinos, analisando, para tanto, os seguintes aspectos: (a) sua fauna associada e suas variações em termos de abundância e diversidade nos diferentes períodos sazonais, e (b) os traços ecológicos apresentados por um dos grupos mais representativos nesse tipo de habitat, os moluscos, e a relação destes com a complexidade do habitat algal.

## 2. ESTRUTURA DA TESE

Com base no exposto, o presente estudo está estruturado em três capítulos, a saber:

**Capítulo I:** Influência da complexidade do habitat sobre os macroinvertebrados associados a diferentes espécies de macroalgas recifais e estuarinas no Nordeste brasileiro. Com o objetivo de avaliar se a complexidade do habitat ofertada pelas macroalgas tem influência positiva na composição, riqueza e diversidade de macroinvertebrados participantes de seu fital nos diferentes ecossistemas estudados.

**Pergunta:** Existe influência da complexidade do habitat oferecido pelas macroalgas na composição, abundância, riqueza e diversidade de macroinvertebrados e no tamanho dos moluscos tanto no ambiente estuarino quanto no recifal?

**Hipótese1:** A complexidade do habitat ofertada pelas macroalgas demonstra influência positiva sobre a composição, abundância e diversidade de macroinvertebrados associados ao seu fital tanto no ambiente estuarino quando no recifal.

**Hipótese 2:** Macroalgas mais complexas abrigam moluscos com tamanho corporal maior, devido a maior disponibilidade de espaço, tanto no ambiente estuarino quanto no recifal.

**Capítulo II:** Influência da sazonalidade sobre a fauna de macroinvertebrados associados a diferentes espécies macroalgais estuarinas. O objetivo é observar se existem variações sazonais no padrão de descritores ecológicos do fital.

**Pergunta:** A comunidade de macroinvertebrados associada às macroalgas no ambiente estuarino e o tamanho dos moluscos diferem no que diz a respeito às épocas de seca e chuva?

**Hipótese 1:** A comunidade de macroinvertebrados e moluscos difere com relação aos descritores ecológicos de abundância, riqueza e diversidade, nos períodos de seca e chuva no ambiente estuarino. Esperamos maior abundância no período chuvoso devido ao maior aporte de nutrientes proveniente de água doce das chuvas.

**Hipótese 2:** Macroalgas coletadas no período chuvoso abrigam moluscos com tamanho corporal maior, devido ao maior aporte de nutrientes provenientes da entrada de água doce das chuvas neste ambiente.

**Capítulo III:** Influência da morfologia macroalgal na estrutura funcional da comunidade de moluscos em um estuário hipersalino. Este visa entender se há diferença na diversidade e riqueza funcionais da comunidade de moluscos associados as macroalgas do ambiente estudado. Assim como, se as macroalgas consideradas mais complexas, em termos de estrutura, apresentam maiores valores de riqueza e diversidade funcionais.

**Pergunta:** Há diferença na diversidade e riqueza funcionais da comunidade de moluscos em relação a complexidade das macroalgas?

**Hipótese 1:** Os traços funcionais distinguem com relação as diferentes espécies macroalgais, estando os maiores valores de riqueza e diversidade funcionais associados as macroalgas mais complexas.

### 3. REFERÊNCIAS

ALONGI, D. Intertidal zonation and seasonality of meiobenthos in tropical mangrove estuaries. **Marine Biology**, v. 95, n. 3, p. 447-458, 1987.

ALVES, M. S.; ARAÚJO, M. J. G. Moluscos associados ao Fital *Halodule wrightii* Aschers na Ilha de Itamaracá-PE. **Tropical Oceanography-ISSN: 1679-3013**, v. 27, n. 1, 1999.

BA-AKDAH, M.; SATHEESH, S.; AL-SOFYANI, A. Habitat preference and seasonal variability of epifaunal assemblages associated with macroalgal beds on the Central Red Sea coast, Saudi Arabia. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 96, n. 7, p. 1457-1467, 2016.

BREMNER, J.; ROGERS, S. I.; FRID, C. L. J. Matching biological traits to environmental conditions in marine benthic ecosystems. **Journal of Marine Systems**, v. 60, n. 3-4, p. 302-316, 2006.

BREINE, Naomi T. et al. Structural and functional diversity of soft-bottom macrobenthic communities in the Southern North Sea. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 214, p. 173-184, 2018.

BULLERI, F. et al. Positive effects of the introduced green alga, *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*, on recruitment and survival of mussels. **Marine Biology**, v. 148, n. 6, p. 1213-1220, 2006.

CACABELOS, E. et al. Effects of habitat structure and tidal height on epifaunal assemblages associated with macroalgae. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 89, n. 1, p. 43-52, 2010.

CARVALHO, L.; LOIOLA, M.; BARROS, F. Manipulating habitat complexity to understand its influence on benthic macrofauna. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 489, p. 48-57, 2017.

CHEMELLO, R.; MILAZZO, M. Effect of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal molluscs. **Marine Biology**, v. 140, n. 5, p. 981-990, 2002.

CHITTARO, P. M. Fish-habitat associations across multiple spatial scales. **Coral Reefs**, v. 23, n. 2, p. 235-244, 2004.

CHRISTIE, H.; NORDERHAUG, K. M.; FREDRIKSEN, S. Macrophytes as habitat for fauna. **Marine Ecology Progress Series**, v. 396, p. 221-234, 2009.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 3, p. 1, 2009.

CURLEY, B. G.; KINGSFORD, M. J.; GILLANDERS, B. M. Spatial and habitat-related patterns of temperate reef fish assemblages: implications for the design of Marine Protected Areas. **Marine and Freshwater Research**, v. 53, n. 8, p. 1197-1210, 2002.

DAYTON, P. K. Competition, disturbance, and community organization: the provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. **Ecological Monographs**, v. 41, n. 4, p. 351-389, 1971.

DE VASCONCELOS REIS, T. N. et al. Métodos de amostragem para comunidades de macroalgas marinhas recifais da praia de Boa Viagem-PE. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 6, n. 1, p. 17-26, 2011.

DEAN, R. L.; CONNELL, J. H. Marine invertebrates in an algal succession. II. Tests of hypotheses to explain changes in diversity with succession. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 109, n. 3, p. 217-247, 1987.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in ecology & evolution**, v. 16, n. 11, p. 646-655, 2001.

DUARTE, R. C. et al. Gastropods associated to three reef macroalgae with different architectures. **Strombus**, v. 22, n. 1/2, p. 5, 2015.

DUARTE, R. C.; MOTA, E. L.; DIAS, T. L. Mollusk fauna from shallow-water back reef habitats of Paraíba coast, northeastern Brazil. **Strombus**, v. 21, n. 1/2, p. 15, 2014.

GESTOSO, I. et al. Shifts from native to non-indigenous mussels: enhanced habitat complexity and its effects on faunal assemblages. **Marine environmental research**, v. 90, p. 85-95, 2013.

KOSTYLEV, V. E. et al. The relative importance of habitat complexity and surface area in assessing biodiversity: fractal application on rocky shores. **Ecological Complexity**, v. 2, n. 3, p. 272-286, 2005.

KOVALENKO, K. E.; THOMAZ, S. M.; WARFE, D. M. Habitat complexity: approaches and future directions. **Hydrobiologia**, v. 685, n. 1, p. 1-17, 2012.

LEITE, F. P.; TAMBOURGI, M. R.; CUNHA, C. M. Gastropods associated with the green seaweed *Caulerpa racemosa*, on two beaches of the Northern coast of the State of São Paulo, Brazil. **Strombus**, v. 16, n. 1/2, p. 1, 2009.

LEITE, F. P. P.; TURRA, A. Temporal variation in Sargassum biomass, Hypnea epiphytism and associated fauna. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 4, p. 665-671, 2003.

LUCENA, L. A. F. D. **Estrutura e composição de macroalgas de manguezais hipersalinos do Rio Grande do Norte, Brasil: diversidade e suas correlações com as variáveis ambientais**. Dissertação de mestrado. 2012.

MASON, N. W. et al. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. **Oikos**, v. 111, n. 1, p. 112-118, 2005.

MATIAS, M. G. et al. Independent effects of patch size and structural complexity on diversity of benthic macroinvertebrates. **Ecology**, v. 91, n. 7, p. 1908-1915, 2010.

MATIAS, M. G. Macrofaunal responses to structural complexity are mediated by environmental variability and surrounding habitats. **Marine biology**, v. 160, n. 3, p. 493-502, 2013.

MATIAS, M. G. et al. Macroalgal Composition Determines the Structure of Benthic Assemblages Colonizing Fragmented Habitats. **PLoS One**, v. 10, n. 11, p. e0142289, 2015.

MAYER-PINTO, M.; MATIAS, M. G.; COLEMAN, R. A. The interplay between habitat structure and chemical contaminants on biotic responses of benthic organisms. **PeerJ**, v. 4, p. e1985, 2016.

NODA, T.; MINAMIURA, N.; MIYAMOTO, Y. Seasonal changes in an intertidal annual algal assemblage in northern Japan: The role of pre-emption and grazing on algal replacement. **Ecological Research**, v. 18, n. 6, p. 695-709, 2003.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology letters**, v. 9, n. 6, p. 741-758, 2006.

QUEIROZ, R.; DIAS, T. Molluscs associated with the macroalgae of the genus *Gracilaria* (Rhodophyta): importance of algal fronds as microhabitat in a hypersaline mangrove in Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 3, p. S052-S063, 2014.

REICHSTEIN, B. et al. Habitat complexity does not promote coexistence in a size-structured intraguild predation system. **Journal of animal ecology**, v. 82, n. 1, p. 55-63, 2013.

REMANE, A. Verteilung und organisation der benthonischen Mikrofauna der Kieler Bucht. 1933.

SMITH, R. S.; JOHNSTON, E. L.; CLARK, G. F. The role of habitat complexity in community development is mediated by resource availability. **PLoS One**, v. 9, n. 7, p. e102920, 2014.

ST PIERRE, J. I.; KOVALENKO, K. E. Effect of habitat complexity attributes on species richness. **Ecosphere**, v. 5, n. 2, p. 1-10, 2014.

TANO, S. et al. Tropical seaweed beds are important habitats for mobile invertebrate epifauna. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 183, p. 1-12, 2016.

TAYLOR, R. B. Density, biomass and productivity of animals in four subtidal rocky reef habitats: the importance of small mobile invertebrates. **Marine Ecology Progress Series**, v. 172, p. 37-51, 1998.

THOMAZ, S. M. et al. Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. **Freshwater biology**, v. 53, n. 2, p. 358-367, 2008.

TILMAN, D. et al. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. **Science**, v. 277, n. 5330, p. 1300-1302, 1997.

TOKESHI, M.; ARAKAKI, S. Habitat complexity in aquatic systems: fractals and beyond. **Hydrobiologia**, v. 685, n. 1, p. 27-47, 2012.

## CAPÍTULO I

### **Influência da complexidade do habitat sobre os macroinvertebrados associados a macroalgas de recifes e estuários tropicais**

#### **RESUMO**

A complexidade do habitat afeta a funcionalidade dos ecossistemas de uma forma particular, uma vez que atua sobre processos ecológicos em todos os níveis de organização. No entanto, os mecanismos geradores de índices de diversidade mais elevados presentes em habitats mais complexos, ainda são pouco estudados. As principais hipóteses deste trabalho são: 1) A complexidade do habitat ofertada pelas macroalgas demonstra influência positiva sobre a composição, abundância e diversidade de macroinvertebrados associados ao seu fital tanto no ambiente estuarino quanto no recifal; 2) Macroalgas mais complexas abrigam moluscos com tamanho corporal maior, devido a maior disponibilidade de espaço, tanto no ambiente estuarino quanto no recifal. O presente estudo foi desenvolvido no estuário do Rio da Casqueira, localizado no município de Macau (RN) e nos recifes da Praia do Seixas, situados no município de João Pessoa (PB). As coletas de macroalgas nos recifes do Seixas foram realizadas no mês de fevereiro, enquanto no Rio da Casqueira no mês de outubro do mesmo ano, ambos inseridos no período seco das respectivas localidades. Foram coletadas um total de 10 réplicas de cada uma das seis espécies de macroalgas (ambiente recifal: *Sargassum polyceratum*, *Padina gymnospora*, *Bryothamnion triquetrum*; Ambiente estuarino: *Solieria filiformis*, *Gracilaria cuneata* e *Gracilaria domingensis*). Constatou-se que, em ambos os ambientes, as macroalgas diferiram com relação ao arranjo estrutural e complexidade. Foi encontrado um total de 5.232 indivíduos associados às três espécies de algas estudadas no ambiente recifal e 12.771 no ambiente estuarino, sendo os taxa mais abundantes em ambos os ambientes Amphipoda, Polychaeta, Echinodermata e Mollusca. A influência positiva da complexidade do habitat sobre a abundância de macroinvertebrados foi verificada neste trabalho. As macroalgas com maiores valores de complexidade de habitat (*Bryothamnium triquetrum* – Recife e *Gracilaria domingensis* - estuário), abrigaram maiores valores de abundância total de indivíduos, do mesmo modo que houve correlação positiva entre a complexidade do habitat e a abundância de macroinvertebrados associados tanto a macroalgas recifais quanto estuarinas. Com relação a malacofauna, observou-se, para esses dois ambientes, que todos os descritores analisados foram diferentes nas distintas espécies de macroalgas, com aquelas que ofertaram maior complexidade de habitat, obtendo valores de descritores mais expressivos. Em ambos os ambientes foram constatadas uma correlação positiva entre a complexidade do habitat a abundância dos moluscos. Com relação ao fator tamanho corporal: os indivíduos com maiores valores médios estiveram abrigados nas algas menos complexas (*P. gymnospora* - recifal; *G. domingensis*-estuário). Ainda, no ambiente estuarino, o tamanho dos moluscos esteve negativamente relacionado com as características morfológicas das algas. Por tudo isso, as macroalgas podem ser consideradas habitats fundamentais tanto no ambiente marinho quanto no estuarino, dando suporte a sobrevivência e coexistência deles.

**Palavras-chave:** Gastropoda, Microhabitat, Dimensão Fractal, Morfologia Macroalgal.

## 1. INTRODUÇÃO

O habitat consiste em um ambiente natural ou artificial composto por um conjunto de organismos vivos e que apresenta todos os recursos necessários à sobrevivência e à reprodução dos mesmos (KRAUSMAN, 1999). Nos ambientes marinhos, em geral, um dos fatores limitantes para os organismos bentônicos é a disponibilidade de substrato (DAYTON, 1971). Por esse motivo, os habitats disponíveis nesses ecossistemas são de fundamental importância na manutenção das comunidades desses organismos (CACABELOS et al., 2010).

Estudos ecológicos sempre buscaram/buscam entender os padrões que controlam a abundância e a diversidade das espécies nos mais variados ambientes e habitats (MACARTHUR, 1965). Diversos trabalhos têm demonstrado a influência positiva que, a complexidade do habitat tem sobre esses padrões em ambientes aquáticos e terrestres (WARFE; BARMUTA; WOTHERSPOON, 2008). Assim, a complexidade do habitat impacta de forma direta as relações ecológicas desenvolvidas pelos organismos que coabitam em determinados habitats (BROWN, 2007). Nessa direção, uma maior complexidade de habitat propicia uma maior área superficial para alocação de diferentes organismos, disponibilizando, assim, diferentes nichos para espécies coexistentes (MACARTHUR, 1965; ST PIERRE; KOVALENKO, 2014). Da mesma forma, essa heterogeneidade estrutural (complexidade do habitat) oferta uma maior disponibilidade de recursos (LEVIN et al., 2001) assim como, maior chance de fuga de predadores por parte das presas (LASLEY-RASHER et al., 2011), fatores que estão diretamente relacionados com a abundância de espécies. No entanto, essa relação pode variar dependendo das espécies e dos grupos funcionais aos quais elas pertencem (SCHARF; MANDERSON; FABRIZIO, 2006).

Alguns organismos marinhos podem atuar como espécies fundadoras, *i. e.*, servindo de habitat para outros organismos, e aumentando, assim, a disponibilidade de substratos e nichos (DAYTON, 1971). As macroalgas marinhas estão entre os organismos que desempenham esse importante papel. Elas atuam como grandes produtoras primárias no ambiente marinho, além de servirem como microhabitat para uma grande diversidade de organismos. Dentre os grupos mais representativos, estão: os Polychaeta, Mollusca e Amphipoda (VEIGA; RUBAL; SOUSA-PINTO, 2014).

As macroalgas estruturam a paisagem subaquática recifal e estuarina. Elas atuam como formadoras de habitats, fornecendo espaço para alocação, maior disponibilidade de nicho ecológico, proteção contra fatores externos; além de sítios de reprodução e alimentação para a diversidade de organismos associados (CHEMELLO; MILAZZO, 2002; NYBERG;

THOMSEN; WALLENTINUS, 2009; TORRES et al., 2015). Estas macroalgas chegam a formar extensos aglomerados chamados “bancos de macroalgas”, que aumentam a biocomplexidade dos ecossistemas, e suportam um rico fital (conjunto de organismos associados) (CACABELOS et al., 2010). Apesar de existir um consenso de que a complexidade do habitat influencia de forma positiva a diversidade de organismos associados, uma compreensão clara dos fatores geradores desse aumento ainda carece de maiores investigações (LOKE et al., 2014). Em parte, isso deve-se pela dificuldade de se definir esse termo ecológico de uma forma abrangente e, em segundo momento, pela falta de padronização de métodos para mensurar essa complexidade (KOVALENKO et al., 2012). A maioria dos estudos realizados sobre este tema tem focado em quantificar apenas a disponibilidade do habitat, utilizando somente medidas morfológicas das macroalgas como: área, biomassa e ramificação (CACABELOS et al., 2010; CHEMELLO; MILAZZO, 2002; GESTOSO; OLABARRIA; TRONCOSO, 2012; TANIGUCHI; TOKESHI, 2004). No entanto, a diversidade de organismos também pode ser diretamente afetada pela morfologia ou disposição da estrutura do habitat (HAUSER et al., 2006).

Nesse contexto, são necessários mais estudos com métodos padronizados que possam avaliar esses e outros possíveis efeitos para essa influência positiva na abundância de organismos associados as macroalgas. Por isso, este trabalho pretende avaliar a influência positiva da complexidade, levando em consideração dois fatores importantes: morfologia macroalgal e dimensão fractal. As medidas fractais configuram-se como os melhores indicadores de complexidade do habitat, porque indicam o grau de rugosidade superficial independentemente da natureza do habitat, e também podem ser relacionadas com as escalas de tamanho dos organismos que o ocupam (GEE; WARWICK, 1994).

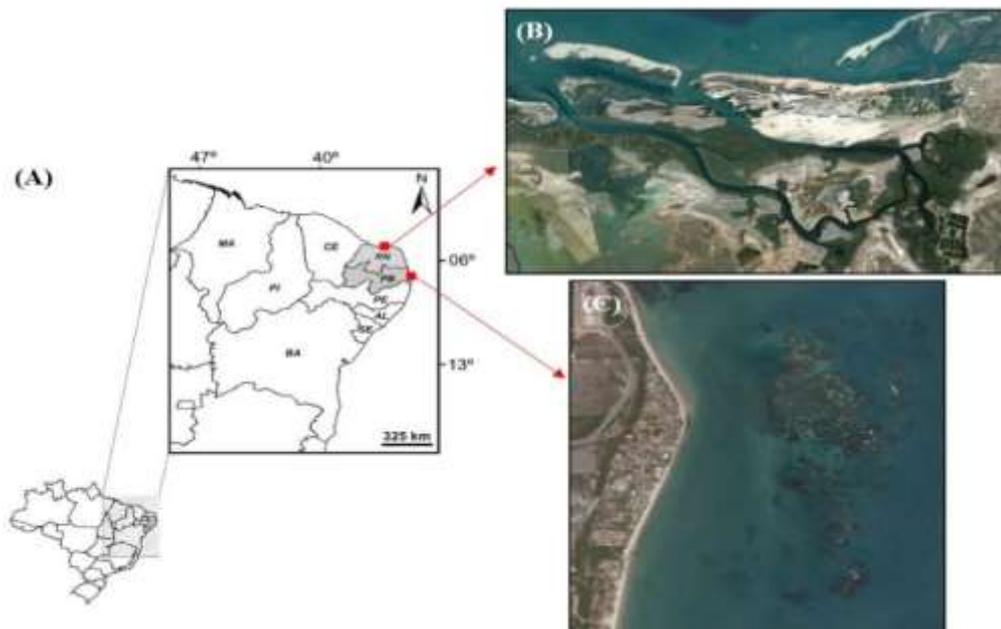
Diante do importante papel ecológico das macroalgas no ambiente marinho recifal e estuarino, o presente estudo objetivou avaliar se a complexidade do habitat ofertada pelas macroalgas tem influência positiva na composição, riqueza e diversidade de macroinvertebrados participantes de seu fital nos diferentes ecossistemas estudados. Essa análise foi feita com macroalgas associadas em um estuário hipersalino e em um habitat recifal, de modo a verificar se, em ambos os ambientes, a fauna de invertebrados associados responde de forma semelhante a estrutura morfológica da macroalga. As principais hipóteses do trabalho são: A complexidade do habitat ofertada pelas macroalgas demonstra influência positiva sobre a composição, abundância e diversidade de macroinvertebrados associados ao seu fital tanto no ambiente estuarino quando no recifal. E que macroalgas mais complexas abrigam moluscos

com tamanho corporal maior, devido a maior disponibilidade de espaço, tanto no ambiente estuarino quanto no recifal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Áreas de estudo

Este estudo foi desenvolvido em dois ambientes: o estuário do Rio da Casqueira (05°37'S 36°32'21"W), localizado no município de Macau, litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, e nos recifes da Praia do Seixas (7°9'21,38" S, 34°47'10" W), situados no litoral central do município de João Pessoa, Estado da Paraíba, Brasil (**Fig. 1**).



**Figura 1.** Localização das áreas de estudo no Nordeste brasileiro (A). Imagens de satélite do Rio da Casqueira, Macau, Rio Grande do Norte (B) e recifes da Praia do Seixas, João Pessoa, Paraíba (C). **Fonte das imagens:** Google Earth.

O estuário do Rio da Casqueira é margeado por manguezais e está sob influência de salinas em atividade e empreendimentos de carcinicultura desativados. A área fica situada em uma região caracterizada pelo clima semiárido, com altas taxas de evaporação e baixos índices pluviométricos (IDEMA, 2004). A precipitação média anual fica em torno dos 480 mm com curto período chuvoso (de fevereiro a maio) e um prolongado período seco (junho a janeiro) (INMET, 2015).

O estuário do Rio da Casqueira constitui um braço de mar que adentrou ao continente e desenvolveu características estuarinas, estando sujeito a ação das marés e a entrada de água doce proveniente do lençol freático subjacente. Esse estuário caracteriza-se como negativo ou inverso, uma vez que a salinidade aumenta rio acima, variando entre 37 (próximo à desembocadura) e 50 (próximo ao final do sistema, à montante) (Dias, 2007). No estuário em questão, pode-se observar alguns micro-habitats, como bancos de ostras, raízes de árvores de mangue e bancos de macroalgas, figurando entre os mais abundantes, por toda a extensão do Rio (LUCENA, 2012).

O outro ambiente investigado, foram os recifes da Praia do Seixas. Estes fazem parte da linha de recifes costeiros rasos que se estendem ao longo do litoral da Paraíba. Esses estão localizados a 600 m de distância da praia e, durante a maré baixa, a profundidade varia de 1 a 4 m, atingindo os 6,5 m na *frente recifal* (DIAS; GONDIM, 2016).

Esse ambiente apresenta uma multiplicidade de micro-habitats, sendo seu sedimento caracterizado pela presença de material biogênico entre as formações recifais, podendo ser observados setores com crescimento de bancos de algas, bancos de rodólitos e piscinas com fundo de cascalho de *Halimeda*. Embora haja crescimento coralíneo sobre a formação, os recifes do Seixas são de composição coral-algal. Porém, sabe-se que, assim como em outras formações recifais do Nordeste, elas estão sobre uma estrutura de recife de arenito, não caracterizando um recife de coral verdadeiro (CAMARGO et al., 2007).

O ambiente está sujeito à forte ação de ondas e turbidez ao longo da maior parte do ano, e apenas durante os meses de seca, que coincidem com a primavera-verão (novembro a março), a ação do vento diminui e a água apresenta maior visibilidade (DIAS; GONDIM, 2016). Os bancos de macroalgas estão presentes em toda extensão do recife, tanto em áreas mais rasas, com 1 metro de profundidade, como em áreas mais profundas, com cerca de 5 m.

As profundidades dos locais de amostragem variaram de 0,5 a 2,5 metros. Nos recifes do Seixas, a salinidade foi em média 36,5, enquanto no Rio da Casqueira a salinidade média foi de 41,5. A temperatura média foi de 29°C nos recifes e 27,5°C no estuário.

## 2.2. Trabalho de campo e processamento das frondes

As coletas de macroalgas nos recifes do Seixas foram realizadas nos meses de fevereiro de 2016 e 2017, enquanto no Rio da Casqueira, ocorreram nos meses de outubro de 2016 e fevereiro de 2017, representando os períodos secos das respectivas localidades, no intuito de evitar a possível interferência de fatores sazonais nas análises.

As coletas foram realizadas em período diurno, durante a baixa-mar, por meio mergulho livre (*snorkeling*). As frondes algais foram coletadas manualmente a partir de sua base de fixação ao substrato. Posteriormente, as mesmas foram cuidadosamente removidas e acondicionadas em sacos plásticos individuais contendo água do ambiente.

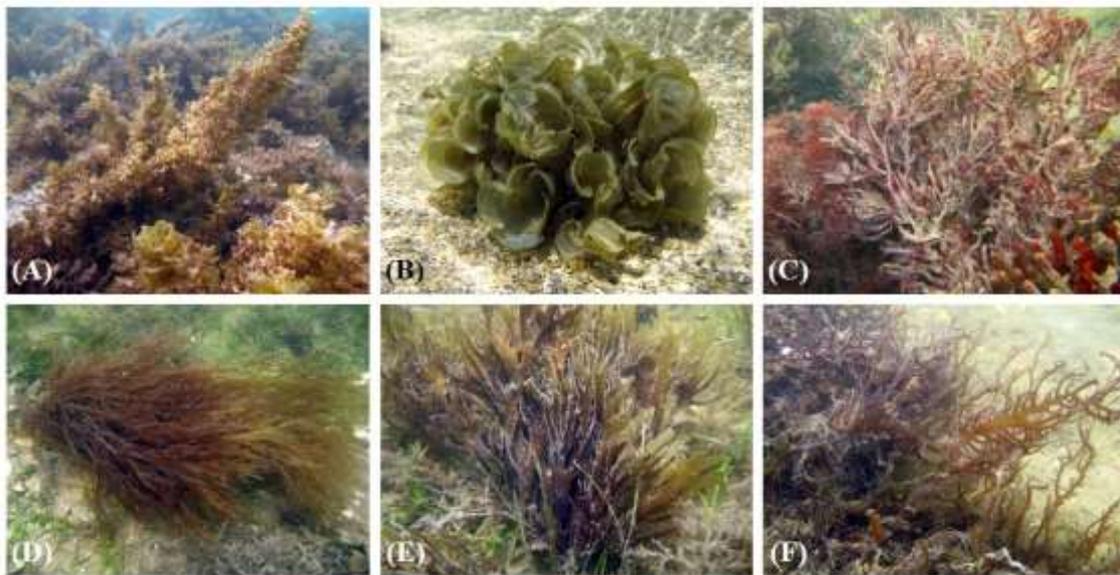
Buscou-se manter uma distância mínima de 10 metros entre as frondes coletadas, de modo a abranger a maior área nos dois ambientes. Ainda em campo, antes de serem fixadas, as frondes algais foram lavadas com água do ambiente, utilizando-se peneira de bentos com malha de 250 e 500  $\mu\text{m}$  para remoção do excesso de sedimento sem que houvesse perda da macrofauna. Em seguida, as algas e a fauna associada foram fixadas e conservadas em formalina a 4%.

Já em laboratório, cada amostra algal foi lavada e colocada em bandeja plástica contendo água doce para remoção dos macroinvertebrados, com a utilização de pinças e microscópio estereoscópio para garantir a melhor visualização de espécimes menores do que 1 mm. Em seguida, os espécimes encontrados foram conservados em álcool a 70%, para posterior identificação.

Os invertebrados associados as macroalgas foram identificados em grandes grupos taxonômicos, apenas o táxon Mollusca foi identificado até nível de espécie a partir da literatura específica (RIOS, 2009; MIKKELSEN; BIELER, 2008; TUNNELL JR. et al., 2010).

### 2.3. Espécies macroalgais: caracterização da estrutura e complexidade do habitat

Em cada ecossistema amostrado, foram coletadas e estudadas três espécies macroalgais, sendo 60 frondes dos Recifes do Seixas e 60 do Rio da Casqueira, totalizando 120 frondes de macroalgas. As espécies de algas recifais analisadas foram: *Sargassum polyceratum*, *Padina gymnospora* e *Bryothamnion triquetrum* (**Fig. 2A-C**) enquanto que as espécies estuarinas foram: *Gracilaria domingensis*, *Gracilaria cuneata* e *Solieria filiformis* (**Fig. 2D-F**).



**Figura 2.** Espécies de macroalgas estudadas nos ambiente recifal e estuarino: (A) *Sargassum polyceratum*, (B) *Padina gymnospora*, (C) *Bryothamnion triquetrum*, (D) *Solieria filiformis*, (E) *Gracilaria cuneata* e (F) *Gracilaria domingensis*. Fotos: Thelma Dias.

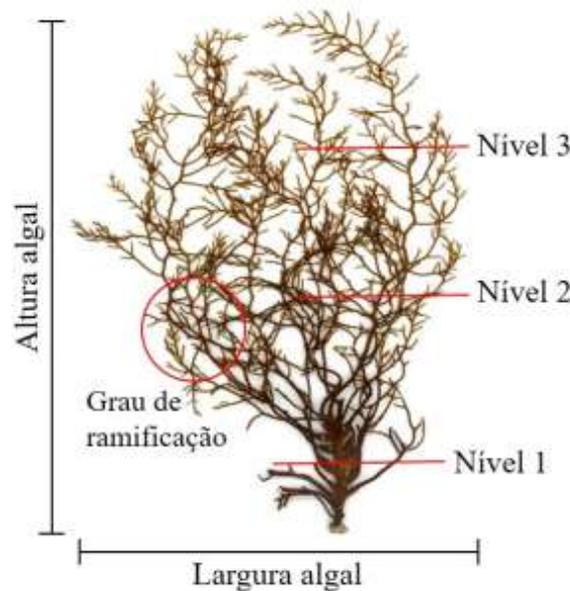
As referidas espécies foram escolhidas por estarem sempre presentes e abundantes nos respectivos ambientes, e por diferirem entre si, com relação a estrutura morfológica. Para tanto, buscou-se coletar uma mais complexa, uma intermediária e outra menos complexa, em ambos os ambientes.

A fim de verificar a influência da complexidade do habitat sobre a macrofauna associada nos dois ambientes, foram mensurados diferentes atributos morfológicos de cada alga, tendo como base os trabalhos de Edgar (1983a) e Chemello; Milazzo (2002), utilizando os atributos morfológicos descritos na **Tab. 1 e Fig. 3**. Também, foi obtido o Peso Úmido (Peso) de todas as réplicas macroalgais referentes ao peso algal após a remoção do excesso de água (30 minutos em peneira e 20 minutos sobre papel toalha) presente nas frondes.

**Tabela 1.** Atributos morfológicos analisados nas seis espécies de algas estudadas nos recifes da Praia do Seixas e no estuário do Rio da Casqueira, Nordeste do Brasil.

Código	Atributo	Descrição
AA	Altura algal	Medida da macroalga desde a base até o topo.
LA	Largura algal	Medida da alga de uma extremidade lateral a outra da fronde.
LT	Largura do talo	Medida que considera a espessura do eixo principal da alga em três níveis (inferior (LTNV1), intermediário (LTNV2) e superior (LTNV3), ao longo de sua altura).
NR	Número de ramos	Contabiliza o número de ramos emergentes, contados em três níveis (inferior (NRNV1), intermediário (NRNV2) e superior (NRNV3)) a partir do eixo basal.

Fonte: Elaboração própria.



**Figura 3.** Desenho esquemático de uma alga ilustrando alguns dos atributos morfológicos utilizados para verificar a complexidade estrutural da alga. **Ilustração:** Tristan Le Goff © 2005.

As macroalgas também foram analisadas quanto à Dimensão Fractal, e, para tal, todas as réplicas foram fotografadas com uma câmera *Nikon D630* e as fotografias importadas para o programa Fractop v.3 (JELINEK et al., 2003). Este programa utiliza o método BoxCounting para estimar a Dimensão Fractal (D), o qual, segundo Backes e Bruno (2005), em seu trabalho experimental, com vários métodos de estimativa de Dimensão Fractal, foi o que obteve os melhores resultados, evidenciando a sua capacidade de aferir diferentes estruturas (fractais). Esse método consiste em sobrepor à imagem uma malha de quadrados, contar o número de quadrados e contabilizar a quantidade de quadrados necessários para cobrir toda a forma.

Para verificar a complexidade estrutural de cada macroalga, buscou-se uma fórmula que levasse em consideração o peso da réplica macroalgal e sua Dimensão Fractal. Fatores que segundo Thomaz; Cunha (2010) são ideais para mensurar este referido índice, utilizando-se, para tanto, a seguinte fórmula foi desenvolvida:

$$CH = D.P$$

Em que CH é a complexidade de habitat, D a Dimensão Fractal e P o Peso Úmido de cada réplica de macroalga. Considerou-se os fatores peso e dimensão por compreender que eles incluem um somatório da área superficial e dos parâmetros morfológicos de cada réplica de fronde macroalgal, respectivamente.

Para o grupo dos moluscos a variável tamanho do corpo também foi aferida, utilizando-se para tanto, um paquímetro digital.

## **2.4. Análises dos dados**

As análises de dados que se seguem foram realizadas em ambos os ambientes e com as seis espécies de macroalgas estudadas. Todas as análises foram realizadas no primer 6 + PERMANOVA, exceto os testes de ANOVA e correlações de Pearson, que foram realizadas no Bioestat 5.0.

### **2.4.1. Macroalgas**

Para demonstrar possíveis agrupamentos entre as réplicas macroalgais com diferentes complexidades com relação aos parâmetros estruturais analisados foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA). A posteriori para verificar a existência de possíveis diferenças nos atributos morfológicos analisados nas seis espécies de macroalgas estudadas nos dois ambientes, foram realizados testes de PERMANOVA, através do teste principal com 9999 permutações de Monte Carlo, após transformação dos dados em  $\log(x+1)$  e emprego da similaridade usando, Distância Euclidiana (ANDERSON, 2008). Em seguida, a fim de verificar se as macroalgas apresentam valores de complexidade do habitat (CH) distintos em ambos os ambientes, foram empregados testes de variância (ANOVA).

### 2.4.2. Macrofauna

Para demonstrar possíveis agrupamentos entre réplicas macroalgais com diferentes complexidades com relação a composição de macroinvertebrados e moluscos foram utilizados Modelos de Ordenação Multidimensional não métrica (MDS).

A rotina DIVERSE foi utilizada para mensurar os descritores ecológicos de diversidade e Shannon-Wiener e Riqueza de Margalef. O SIMPER foi empregado para descrever a similaridade ou dissimilaridade entre as algas de acordo com os táxons de invertebrados e a malacofauna (ANDERSON, 2008)

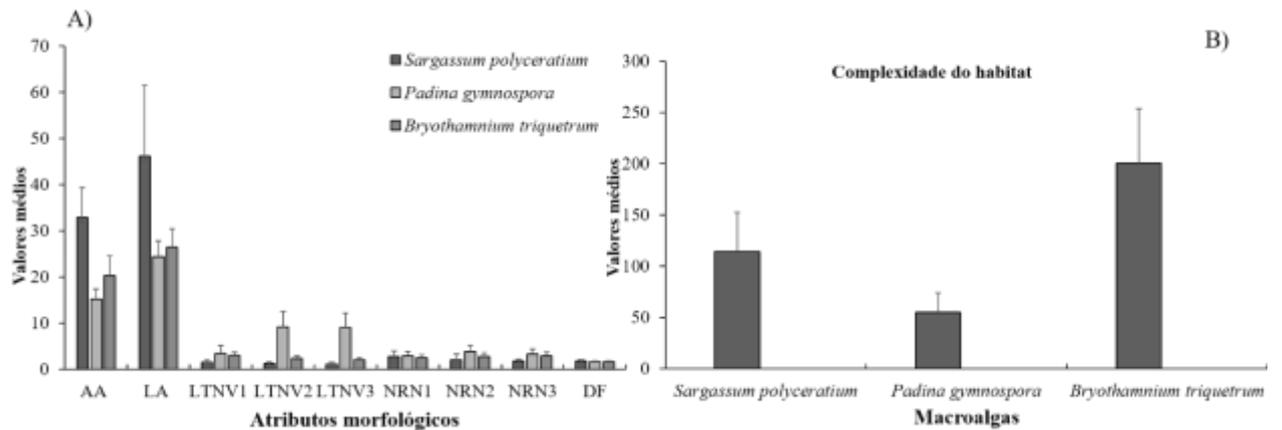
Ainda, para constatar se existiu correlação entre a Complexidade do Habitat com a abundância de macroinvertebrados e moluscos, e também com o tamanho médio dos moluscos, foram empregados testes de correlação de Person.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Ambiente recifal

#### 3.1.1. Estrutura das algas-habitat no ambiente recifal

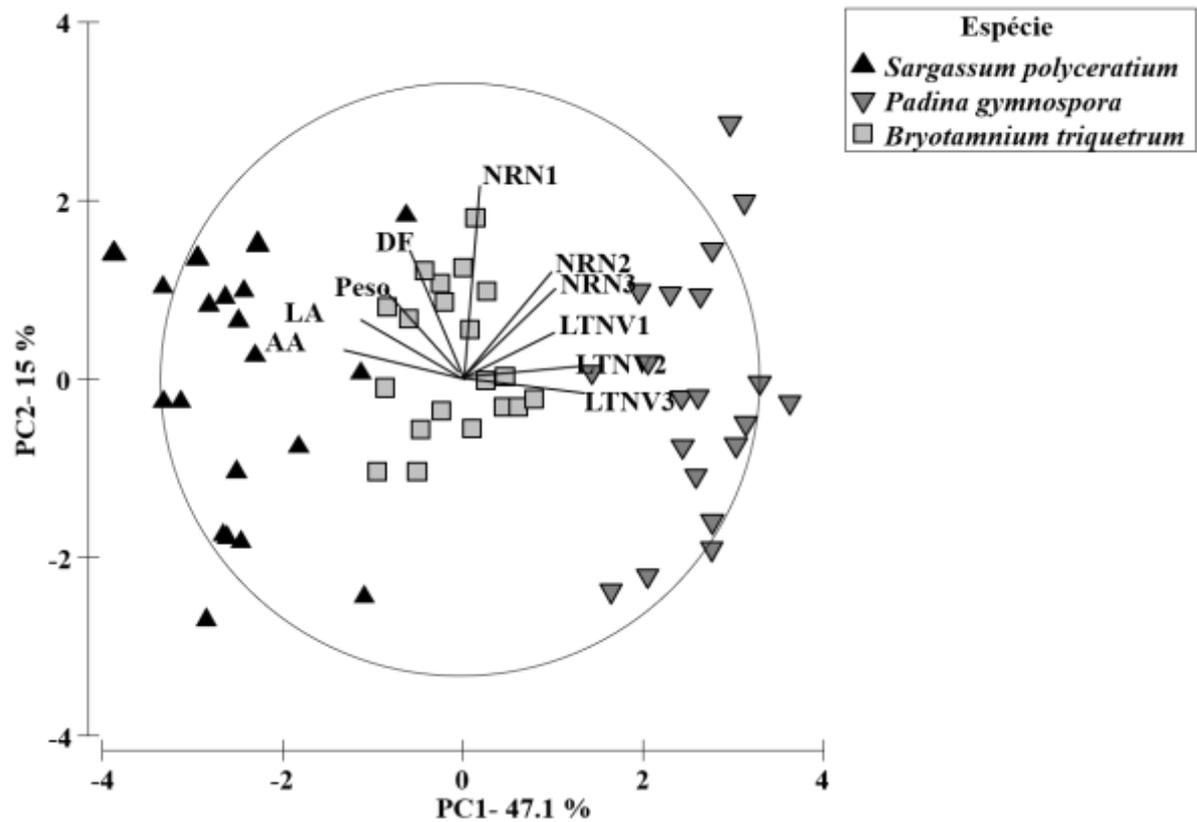
Constatou-se que as macroalgas estudadas nos recifes além de visualmente distintas, apresentaram diferenças morfológicas bem evidentes. Analisando as variáveis morfológicas de forma independente tem-se que: a macroalga com maior valor médio de altura (AA) e largura (LA) foi *Sargassum polyceratum*, seguida de *Bryothamnion triquetrum*; por outro lado, *Padina gymnospora* apresentou os menores valores para estes dois atributos. Quando analisado a largura do talo (LT) em três níveis (N1, N2 e N3), *P. gymnospora* obteve os maiores valores, seguida de *B. triquetrum* e *S. polyceratum*. Com relação ao número de ramos (NR) em três níveis (N1, N2 e N3), a macroalga *B. triquetrum* apresentou os maiores valores para o nível 1 (mais próximo do ápice) e para o nível 3 (mais próximo da base) e *P. gymnospora* apresentou os maiores valores para o nível intermediário. Com relação ao peso, observou-se que *B. triquetrum* apresentou o maior valor médio, seguida *S. polyceratum* e *P. gymnospora*. Por fim, com relação a complexidade do habitat *B. triquetrum* maior valor médio para esse índice (CH=345,73), enquanto a *P. gymnospora* o menor (CH=83,45). (**Fig. 4**).



**Figura 4.** Valores médios ( $\pm$ DP) dos atributos morfológicos (A) e valores médios ( $\pm$ DP) da complexidade do habitat nas macroalgas recifais (B). Códigos dos atributos na tabela 1.

De acordo com a PCA, utilizando todos os atributos morfológicos. Constatou-se, então, uma evidente separação entre as réplicas das três espécies de macroalgas, com duas réplicas formando agrupamentos bem distintos, observando-se um percentual de explicação para os dois eixos (PC1 e PC2) de 62,00% (**Fig. 5**).

Quando observadas conjuntamente, todas as variáveis morfológicas, houve diferença entre as três espécies de macroalgas estudadas (Pseudo- $F_{2,28} = 30,76$ ;  $p = 0,001$ ). Assim como o índice de Complexidade de Habitat ( $F_{2,38} = 77,15$ ,  $p < 0,0001$ ). Por tudo isso, observou-se que as diferentes espécies de macroalgas estudadas para o ambiente recifal diferiram quanto a heterogeneidade estrutural, mensurada a partir dos vários descritores morfológicos analisados, e, portanto, elas ofertaram diferentes complexidade de habitat.



**Figura 5.** Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos morfológicos das macroalgas recifais estudadas. Códigos dos atributos na tabela 1.

### 3.1.2. Influência da complexidade do habitat sobre a comunidade de macroinvertebrados associados às macroalgas recifais

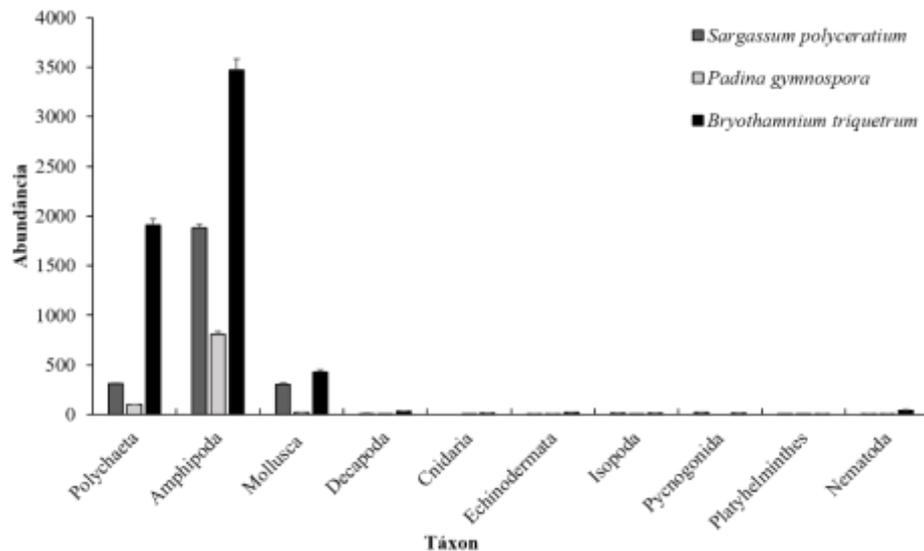
Foi encontrado um total de 9.437 indivíduos associados as três espécies de algas estudadas, divididos em dez taxa (Polychaeta, Amphipoda, Decapoda, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca, Isopoda, Pycnogonida, Platyhelminthes e Nematoda). O MDS mostrou a separação das réplicas das três macroalgas, com relação à abundância dos taxa encontradas (**Fig.6**) e o teste de variância indicou que a composição desses macroinvertebrados em cada macroalga foi distinta ( $F_{2,38} = 4.73$ ,  $p = 0,0001$ ).

Apesar da diferença entre a abundância dos taxa nas macroalgas, um grupo se sobressaiu em termos de abundância em todas elas, foi o dos Amphipoda, que totalizou 6.167 espécimes, nas três espécies. O segundo grupo mais abundante foi o dos Polychaeta (2.324 espécimes) seguido pelo taxa Mollusca com 753 espécimes. A macroalga que apresentou o maior valor absoluto de abundância de indivíduos, levando em consideração todos os grupos foi *B.*

*triquetrum* (5.969), em contrapartida a macroalga com menor abundância foi *P. gymnospora* (953) (**Fig.7**).

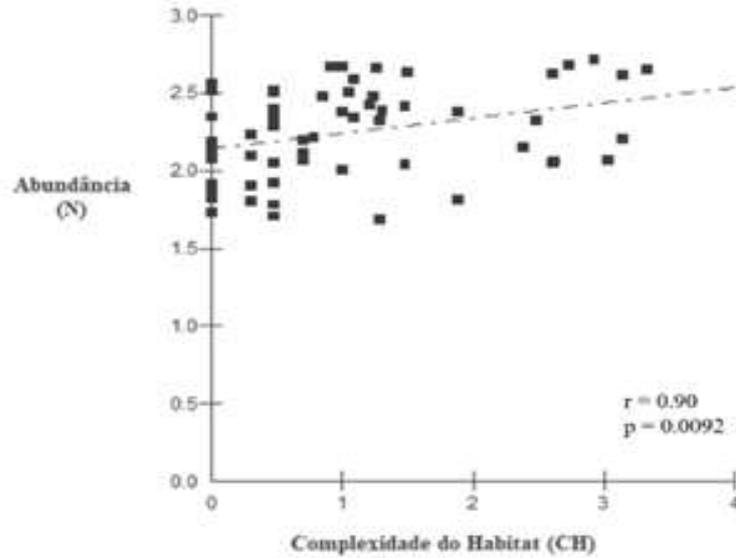


**Figura 6.** Modelo de ordenação multidimensional não métrica (MDS) indicando a disposição das réplicas das macroalgas recifais estudadas em relação a abundância de macroinvertebrados associados.



**Figura 7.** Abundância dos principais taxa de macroinvertebrados associados às três espécies de macroalgas recifais estudadas.

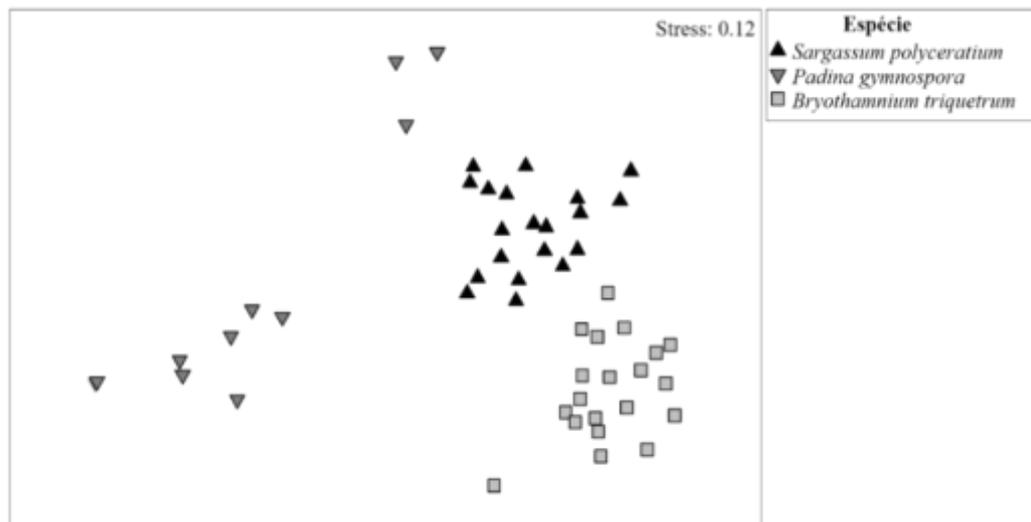
Averiguou-se com os testes de correlação de Person que a complexidade do habitat (CH) das três espécies macroalgais estudadas estiverem correlacionados de forma positiva com a abundância dos táxons presentes em cada uma delas (**Fig.8**).



**Figura 8.** Correlação entre a complexidade do habitat e a abundância de macroinvertebrados nas três espécies de macroalgas recifais estudadas.

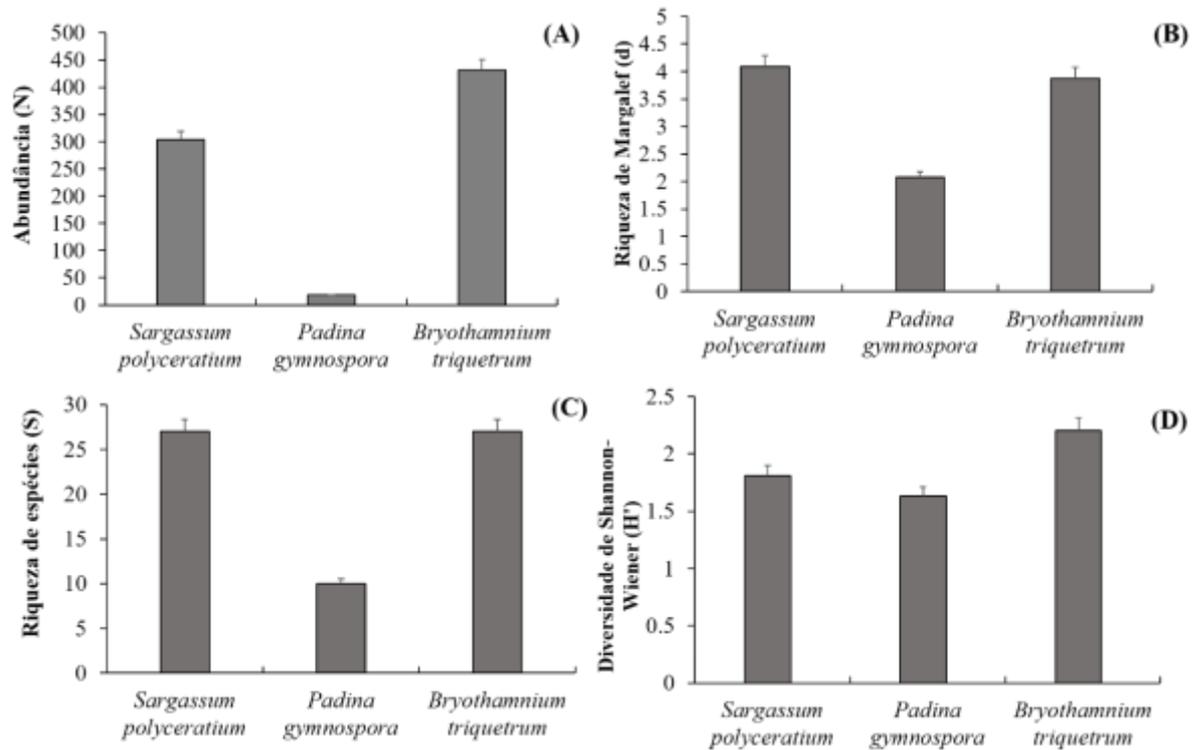
### 3.1.3. Influência da complexidade do habitat sobre a comunidade de moluscos associados às macroalgas recifais

Os moluscos figuraram entre os três grupos de macroinvertebrados mais abundantes nas três espécies de algas estudadas no ambiente recifal. A análise de agrupamento (MDS) deixou evidente a separação entre as espécies de macroalgas com relação a abundância de moluscos, dado que elas formaram três grupos bem distintos (**Fig.9**). Esse grupo diferiu com relação a sua abundância nas três espécies (Pseudo- $F_{2,21} = 15.21$ ;  $p = 0,001$ ).



**Figura 9.** Modelo de Ordenação Multidimensional não Métrica (MDS) indicando a disposição das réplicas macroalgais recifais estudadas em relação a estrutura da comunidade de moluscos.

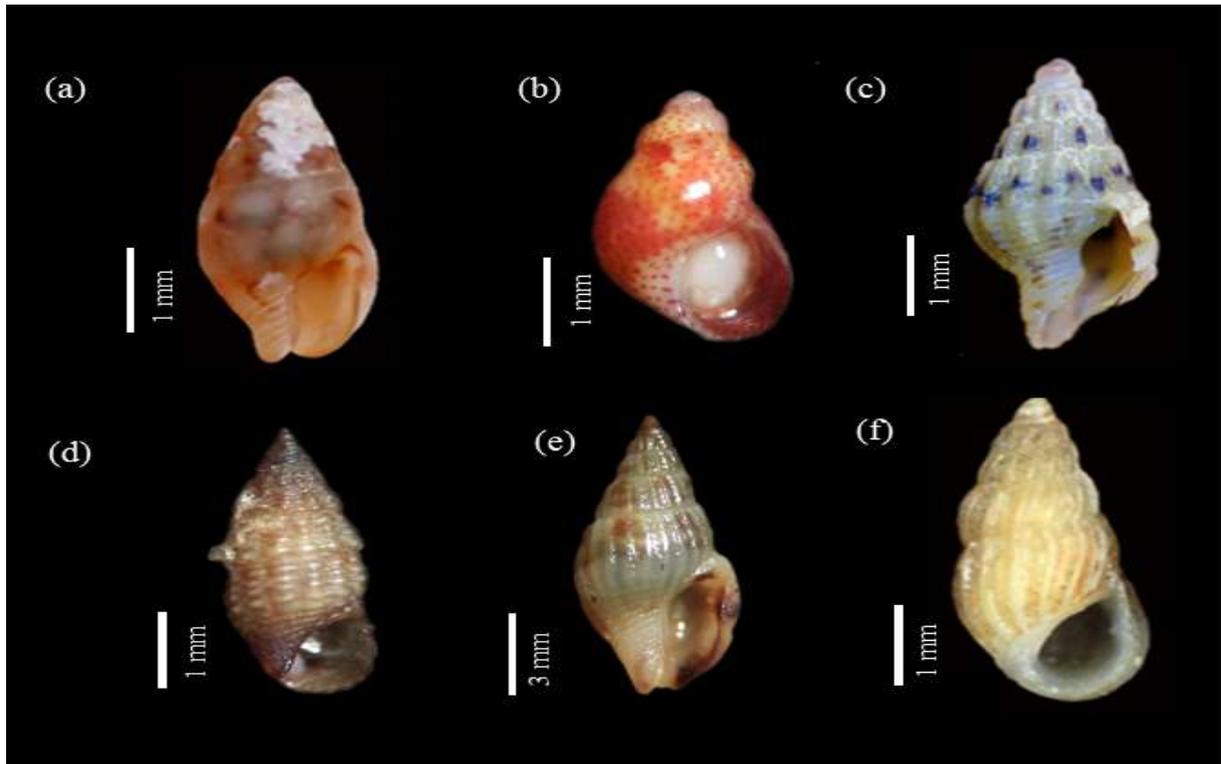
Foram encontrados 753 moluscos associados as três espécies de macroalgas recifais, agrupados nas três classes mais representativas (Gastropoda, Bivalvia e Polyplacophora), sendo a classe Gastropoda a mais abundante. Os moluscos estiveram distribuídos em uma riqueza total de 32 espécies, agrupadas em 16 famílias e 27 gêneros (**Apêndice I**). A macroalga *B. triquetrum*, que foi considerada a mais complexa, em termos morfológicos, obteve os maiores valores para todos os descritores ecológicos analisados (**Fig.10**).



**Figura 10.** (A) Abundância de indivíduos, (B) número de espécies, (C) riqueza de espécies de Margalef e (D) diversidade de Shannon-Wiener da malacofauna associada às três espécies de macroalgas recifais estudadas.

Analisando a classe mais representativa em termos de abundância, os gastrópodes, examinou-se que as espécies mais abundantes nas macroalgas foram: *Eulithidium affine* (**Fig. 11b**), *Bittolum varium* (**Fig. 11d**) e *Astyris lunata* (**Fig. 11a**) (175, 145, 132 indivíduos, respectivamente), como pode ser visualizado no **Apêndice I**. De acordo com a análise de SIMPER, as macroalgas consideradas mais dissimilares com relação a comunidade de moluscos foram *B. triquetrum* e *P. gymnospora* (92,23%), tendo maior contribuição de *Eulithidium affine* e *Bittolum varium* (**Fig. 11b e 11d**) para essa dissimilaridade, confirmando a diferença na composição desse grupo nestas duas macroalgas morfológicamente mais distintas e que ofertam conseqüentemente um diferente arranjo de frondes para estes indivíduos.

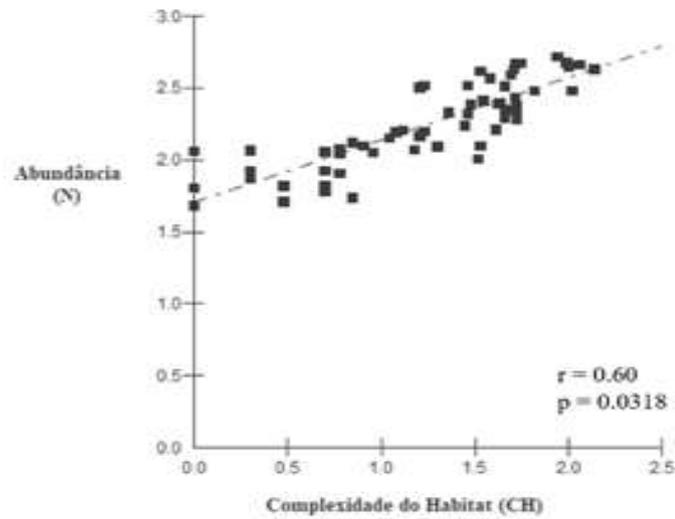
Para a classe Bivalvia, foram encontradas apenas 4 espécies: *Nucula crenulata*, *Sphenia fragilis*, *Simulamereleina cf. caribaea* e *Lithophaga bisulcata*, com uma abundância de indivíduos muito baixa, apenas 4 espécimes, distribuídas em 4 gêneros e duas famílias (Apêndice I/Fig.11).



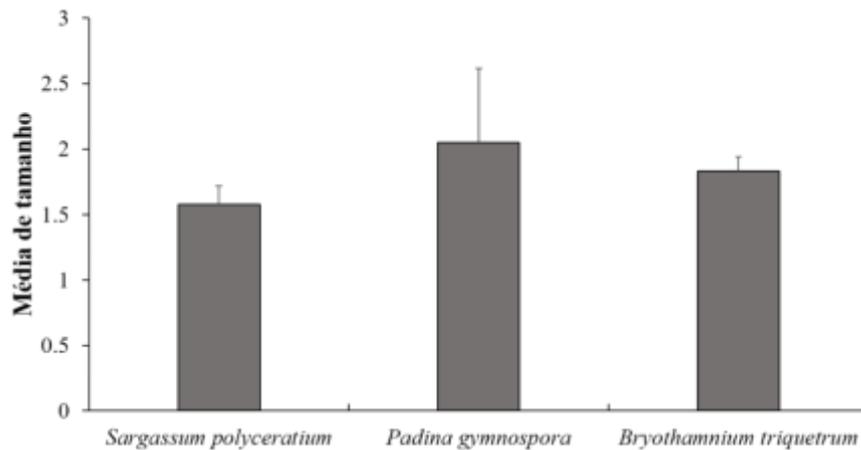
**Figura 11-** Algumas espécies de moluscos registradas nas algas recifais estudadas: a) *Astyris lunata*, b) *Eulithidium affine*, c) *Anachis lyrata*, d) *Bittium varium* e) *Parvanachis obesa*, f) *Schwartziella catesbyana*.

Verificou-se ainda, uma correlação positiva entre a abundância de moluscos nas algas estudadas com a complexidade do habitat (Fig. 12).

A maioria das espécies encontradas figuram como micromoluscos, com tamanhos médios variando entre 0,20 e 4 mm. A macroalga considerada menos complexa (*P. gymnospora*) foi a que abrigou indivíduos de maiores tamanhos médios (Fig.13).



**Figura 12.** Correlação entre a abundância de moluscos e a complexidade do habitat nas macroalgas recifais estudadas.



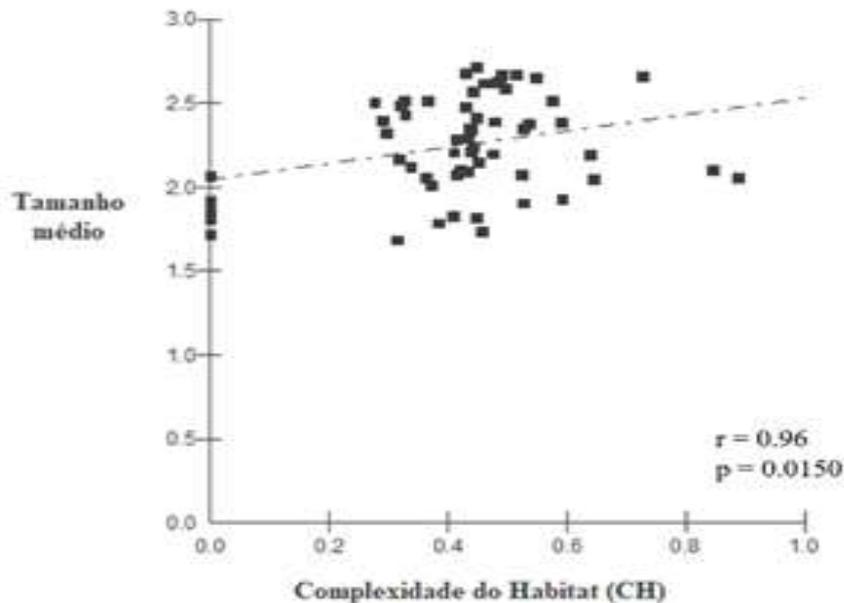
**Figura 13.** Média de tamanho ( $\pm$ DP) da malacofauna associada às três espécies de macroalgas recifais estudadas.

Seguindo com o teste de variância (ANOVA), examinou-se que houve diferença entre os tamanhos dos moluscos nas três espécies. No entanto, com um teste *a posteriori* (Teste de Tukey), observou-se que *Sargassum polyceratum* e *P. gymnospora* não diferiram com relação as medidas, sendo a diferença encontrada entre *P. gymnospora* e *Bryothamnium triquetrum*, e entre *S. polyceratum* e *B. triquetrum* (Tab. 2).

**Tabela 2.** Resultados dos testes de variância para tamanho médio dos moluscos associados as três espécies de macroalgas recifais estudadas.

Diferença entre as três espécies	$F_{2,3} = 42.21, p = 0.0059$
<i>Sargassum polyceratum</i> x <i>Padina gymnospora</i>	NS
<i>Sargassum polyceratum</i> x <i>Bryothamnium triquetrum</i>	< 0.05
<i>Padina gymnospora</i> x <i>Bryothamnium triquetrum</i>	< 0.01

O tamanho médio dos moluscos esteve positivamente correlacionado a complexidade do habitat das macroalgas (**Fig.14**).



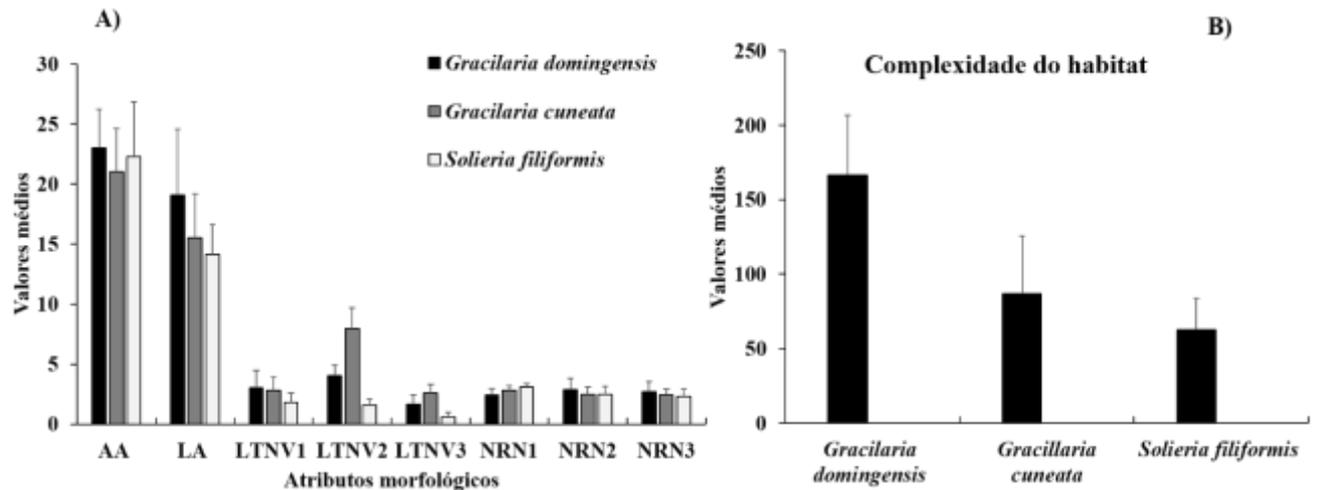
**Figura 14.** Correlação entre a complexidade do habitat e tamanho médio dos moluscos encontrados nas três espécies de macroalgas recifais estudadas.

## 3.2. Ambiente estuarino

### 3.2.1. Estrutura das algas-habitat no ambiente estuarino

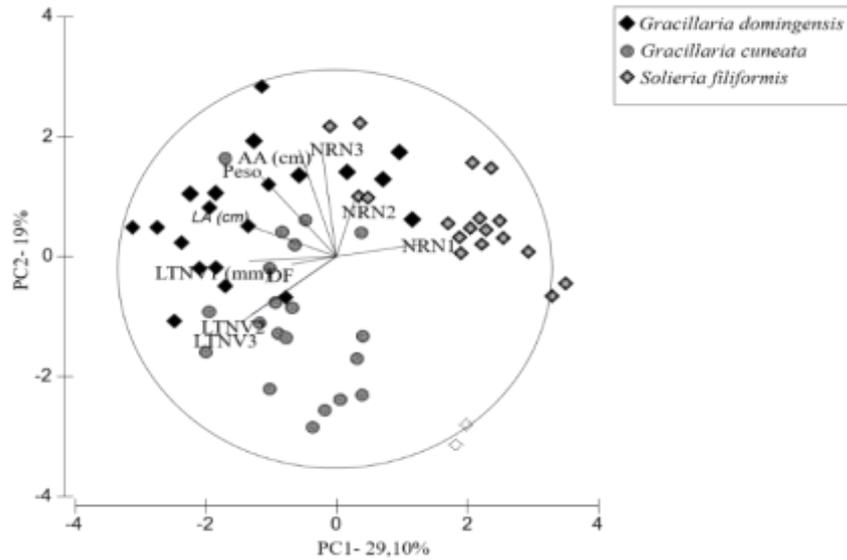
Para o ambiente estuarino, também foi verificado uma diferença entre os atributos morfológicos das espécies de macroalgas estudadas, como relação ao atributo altura algal (AA) e largura algal (LA). Os maiores valores foram encontrados na espécie de macroalga *Gracilaria domingensis*, seguida por *Gracilaria cuneata*. Por outro lado, com relação aos demais atributos morfológicos mensurados, os valores mínimos e máximos variaram entre as macroalgas *G.*

*domingensis* e *Solieria filiformis*, respectivamente. A macroalga com maior valor médio de complexidade de habitat foi *G. domingensis* (CH=166,48), enquanto a com menor valor foi *S. filiformis* (CH=62,75) (**Fig.15**).



**Figura 15-** Valores médios ( $\pm$ DP) dos atributos morfológicos analisados A); valores médios ( $\pm$ DP) de Complexidade do habitat B), nas macroalgas estuarinas. Códigos dos atributos na tabela 1.

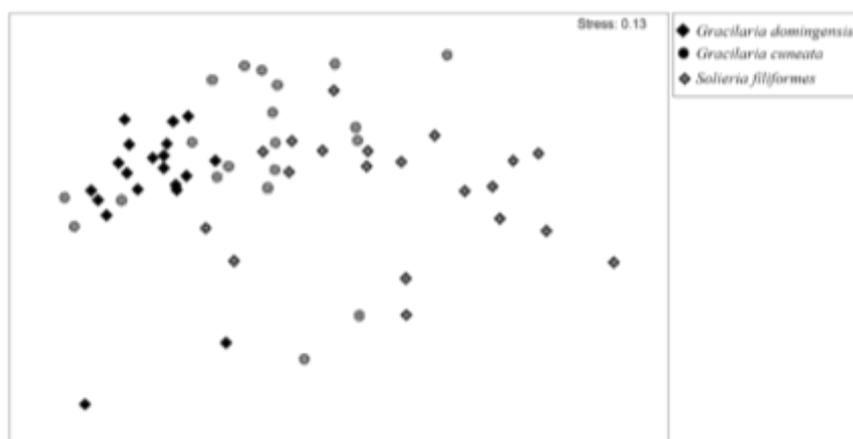
A análise de componentes principais mostrou uma separação evidente entre as réplicas dessas algas com relação aos seus atributos morfológicos, além de uma explicação total dos dois eixos (PC1 e PC2) de 48,2% (**Fig.16**). Essa separação foi evidenciada pela diferença observada quando todos foram testados conjuntamente por meio do teste de PERMANOVA (Pseudo- $F_{2,59} = 13,896$ ;  $p = 0,001$ ). Com relação à complexidade do habitat, essa diferença também ficou evidente ( $F_{2,59} = 45.80$ ,  $p < 0,001$ ).



**Figura 16.** Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos morfológicos das macroalgas estuarinas analisadas. Códigos dos atributos na tabela 1.

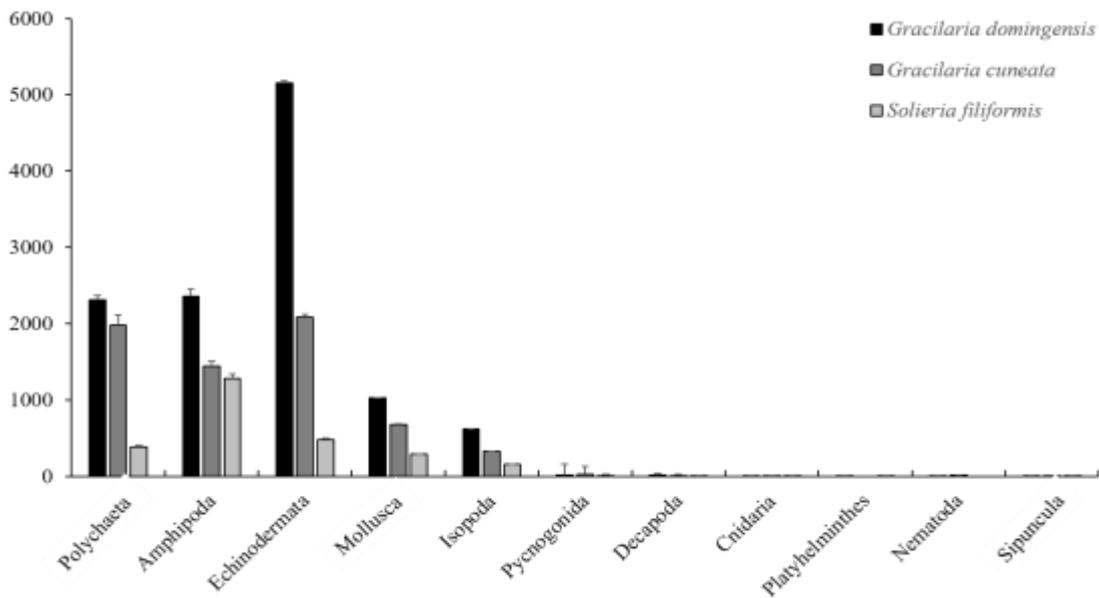
### 3.2.2. Influência da complexidade do habitat sobre a comunidade de macroinvertebrados associados às macroalgas estuarinas

Foi encontrado um total de 20.731 indivíduos associados as três espécies de macroalgas no ambiente estuarino, divididos em 10 *taxa*: Amphipoda, Polychaeta, Echinodermata, Mollusca, Isopoda, Decapoda, Cnidaria, Pycnogonida, Platyhelminthes, Nematoda e Sipuncula. A análise de ordenação (MNDS) não mostrou uma separação muito evidente entre as macroalgas *Gracillaria cuneata* e *Solieria filiformis* (**Fig.17**). No entanto, houve uma diferença com relação a abundância dos *taxa* estudados entre as três macroalgas (Pseudo- $F_{2,59} = 16.264$ ;  $p = 0,001$ ).



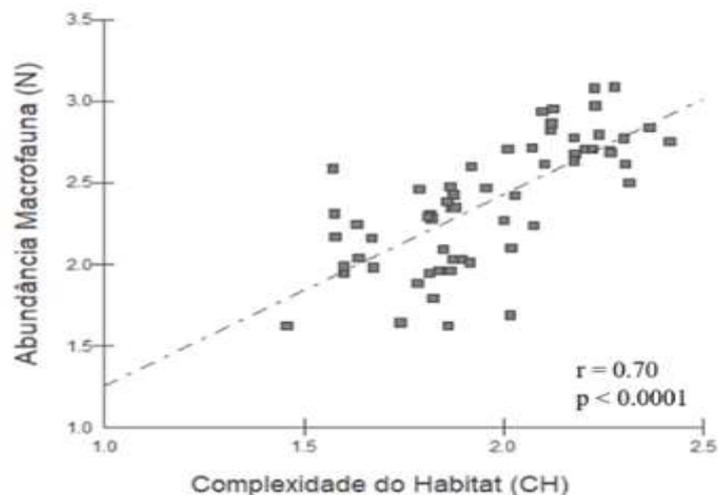
**Figura 17.** Modelo de ordenação multidimensional não métrica (MDS) indicando a disposição das réplicas das macroalgas estuarinas estudadas em relação a abundância de macroinvertebrados associados.

Os táxons mais abundantes em todas as espécies de macroalgas foram: Echinodermata (N=7.731 espécimes), Amphipoda (N=5.082 espécimes), Polychaeta (N=4.688 espécimes) e Mollusca (N=1.998 espécimes). A macroalga *G. domingensis* apresentou a maior abundância de todos os taxa (11.526 registros), enquanto *S. filiformis* apresentou o menor valor, somando uma abundância total de 2.632 (**Fig. 18**).



**Figura 18.** Abundância dos principais taxa de macroinvertebrados associados às três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.

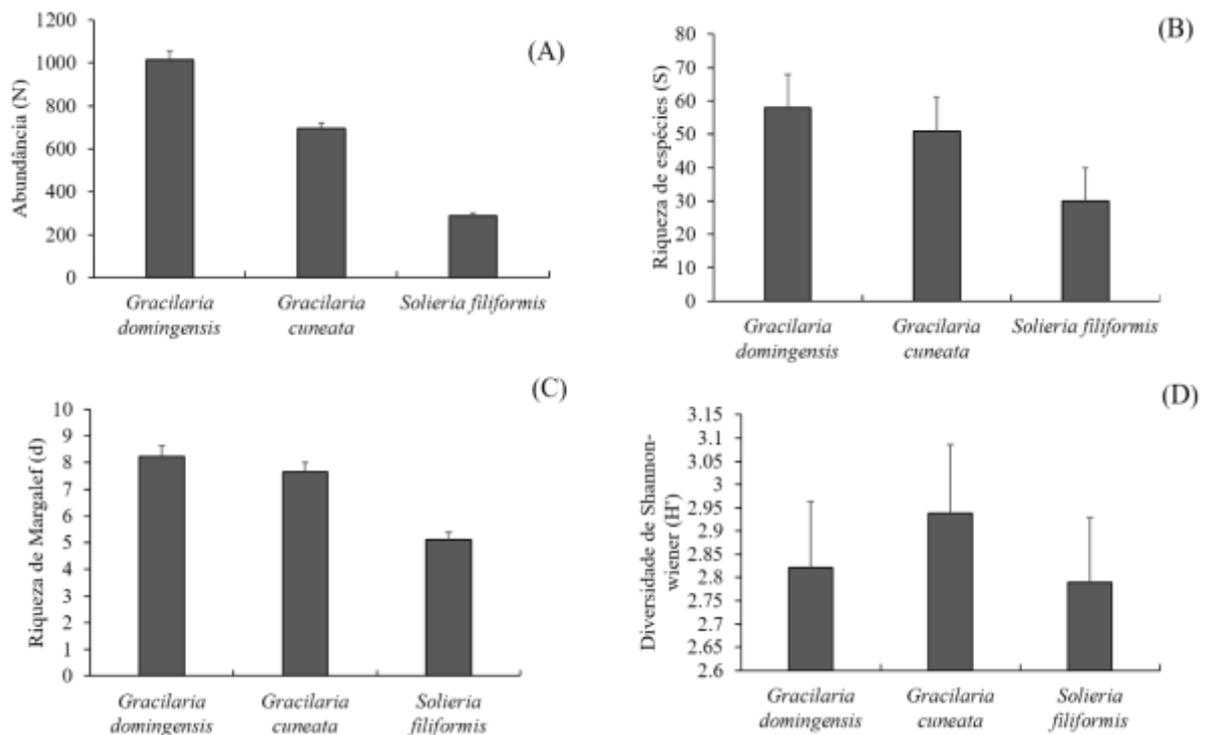
Houve correlação positiva entre a complexidade do habitat (A) e a abundância dos taxa de macroinvertebrados encontrados nas três espécies de macroalgas (**Fig. 19**).



**Figura 19.** Correlação entre complexidade do habitat e a abundância de macroinvertebrados associados às macroalgas estuarinas.

### 3.2.3. Influência da complexidade do habitat sobre a comunidade de moluscos associados às macroalgas estuarinas

O grupo dos Mollusca foi o terceiro mais representativo em termos de abundância, dentre os macroinvertebrados encontrados nas algas, com um total de 2.000 indivíduos, agrupados em três classes (*Gastropoda*, *Bivalvia* e *Polyplacophora*). A classe mais representativa em termos de abundancia e riqueza foi a dos gastrópodes. Os moluscos estiveram distribuídos em uma riqueza total de 78 espécies, pertencentes a 40 famílias e 77 gêneros (**Apêndice II**). Quando analisados outros descritores ecológicos, percebeu-se que a macroalga com maiores valores, para todos eles, exceto diversidade de Shannon, foi *G. domingensis*. Para este referido descritor *G. cuneata* obteve o maior valor (**Fig. 20C**), em contrapartida a macroalga *S. filiformis* apresentou os menores valores para todos os descritores analisados (**Fig. 20**).



**Figura 20.** (A) Abundância de indivíduos, (B) número de espécies, (C) riqueza de espécies de Margalef e (D) diversidade de Shannon-Wiener da malacofauna associada às três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.

Houve uma diferença com relação à abundância da malacofauna das três espécies macroalgais (Pseudo- $F_{2,59} = 3.5131$ ;  $p = 0,001$ ).

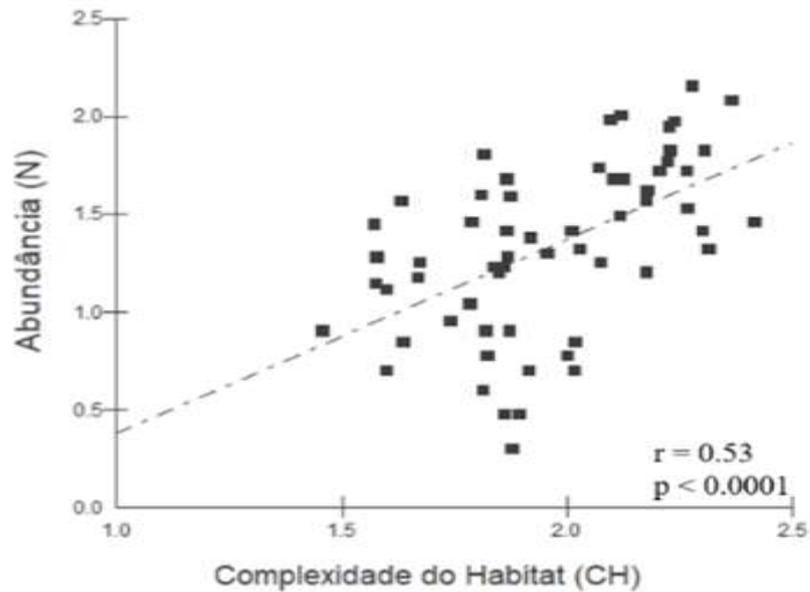
As espécies de moluscos gastrópodes mais abundantes nas três espécies de macroalgas foram *Turbonilla fasciata* (**Fig. 21f**), *Alaba incerta* (**Fig. 21b**) e *Caecum johnsoni* (347; 314 e 220 indivíduos, respectivamente). Com relação a classe Bivalvia, as espécies mais abundantes foram *Sphenia fragilis* e *Anomalocardia flexuosa* (109 e 112 indivíduos, respectivamente). De acordo com a análise de SIMPER, as algas consideradas mais dissimilares com relação a comunidade de moluscos foram *G. domingensis* e *S. filiformis* (83,67%), tendo maior contribuição de *Turbonilla fasciata* e *Caecum johnsoni* e *Sphenia fragilis*. Estas algas foram consideradas com os maiores e menores valores de complexidade do habitat, respectivamente, reforçando, assim, a ideia de que o arranjo estrutural das frondes contribui para a diferenciação da comunidade de moluscos associados a elas.

Pode-se perceber que além dos indivíduos considerados como micromoluscos, estiveram presentes nas macroalgas representantes jovens de espécies que atingem um tamanho maior como *Voluta ebraea*, *Aurantilaria aurantiaca* e *Pugilina morio*. Isto também foi observado para alguns bivalves como *Sphenia fragilis*, *Botula fusca*, *Anomalocardia flexuosa* e *Leptopecten bavayi* (**Fig. 21**). Especificamente para *Sphenia fragilis* e *Anadara notabilis*, foram encontrados indivíduos de tamanhos muito variados. O bivalve *Anadara notabilis* é que ele além de ser encontrado por entre as frondes macroalgais coabitando com outros indivíduos, e geralmente se apresentando na forma de juvenis, os adultos foram encontrados servindo como suporte para a implantação das próprias algas, principalmente da espécie *S. filiformis*.



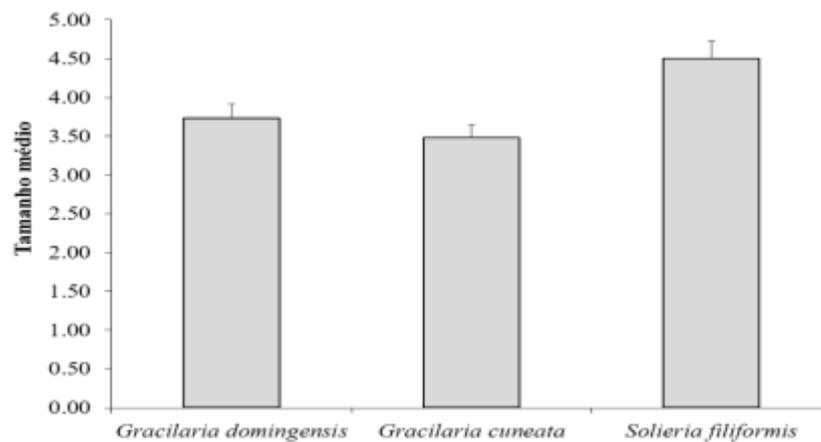
**Figura 21.** Algumas espécies de moluscos registradas nas macroalgas estuarinas. a) *Parvanachis obesa*, b) *Alaba incerta*, c) *Bittium varium* d) *Anachis lyrata*, e) *Schwartziella catesbyana*, f) *Turbonilla fasciata*, g) *Cerithium atratum*, h) *Anomalocardia flexuosa*, i) *Eulithidium affine*, j) *Neritina virginea*, l) *Botula fusca*, m) *Anomalocardia flexuosa*, n) *Leptopecten bavayi*, o) *Sphenia fragilis*, p) *Elysia* sp., q) *Aplysia* sp., r) *Oxynoea* sp., s) *Caecum johnsoni*, t) *Caecum ryssotitum*, u) *Astraliium latispina*.

Foi constatada uma correlação positiva entre a abundância de moluscos e a complexidade do habitat (**Fig. 22**).



**Figura 22.** Correlação entre complexidade do habitat e a abundância de moluscos nas três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.

Quando analisado o tamanho corporal dos moluscos, observou-se que eles também figuraram como micromoluscos, variando entre 0,10 e 4,50 mm. A macroalga *S. filiformis*, considerada de acordo com as métricas propostas, a que oferta uma menor complexidade de habitat, abrigou os espécimes com maiores tamanhos médios (**Fig. 23**).



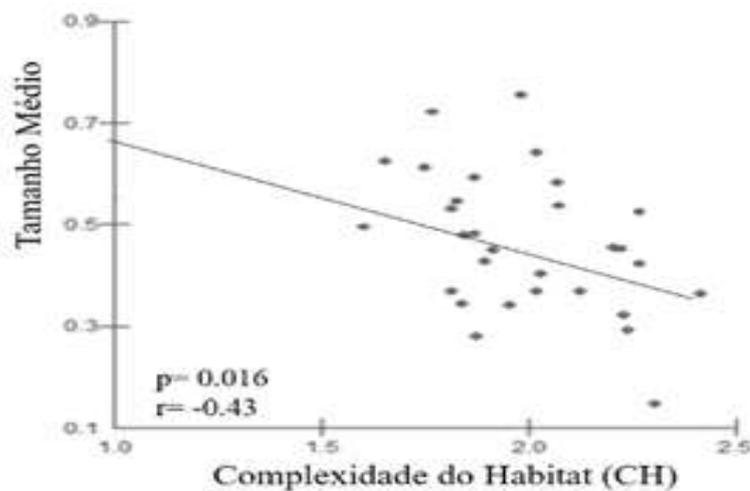
**Figura 23.** Média de tamanho ( $\pm$ DP) da malacofauna associada às três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.

Seguindo com o teste de variância (ANOVA), constatou-se que houve diferença entre os tamanhos dos moluscos nas três espécies de macroalgas. No entanto, com um teste *a posteriori* (Teste de Tukey), observou-se que *Gracilaria domingensis* não diferiu com relação a *Solieria filiformis* nem a *Gracilaria cuneata*, porém, *Gracilaria cuneata* diferiu com relação a *Solieria filiformis* (Tab. 3).

**Tabela 3.** Resultados dos testes de variância para tamanho médio dos moluscos associados as três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.

Diferença entre as três espécies	$F_{2,3} = 7.84, p = 0.009$
<i>Gracilaria domingensis</i> x <i>Gracilaria cuneata</i>	NS
<i>Gracilaria domingensis</i> x <i>Solieria filiformis</i>	NS
<i>Gracilaria cuneata</i> x <i>Solieria filiformis</i>	< 0.01

Os resultados demonstraram que o tamanho corporal dos indivíduos esteve correlacionado de forma negativa com a complexidade do habitat (Fig. 24).



**Figura 24.** Correlação entre complexidade do habitat e tamanho médio dos moluscos nas três espécies de macroalgas estuarinas estudadas.

#### 4. DISCUSSÃO

Este estudo mostrou a importância das macroalgas como habitat para a fauna de macroinvertebrados de pequeno porte, tanto em habitat recifal quanto em ambiente estuarino. Em ambos os ecossistemas, as macroalgas abrigaram uma fauna rica, diversa e abundante, que se mostrou diferente entre frondes algais mais e menos complexas.

Nas áreas estudadas, todas as espécies macroalgais diferiram com relação às medidas de complexidade estrutural verificadas, evidencia-se que os elementos que quantificam a complexidade do habitat foram diferenciados nas seis espécies de macroalgas encontradas nos dois tipos de ambientes. Esse fato demonstra que, as algas apresentaram um arranjo estrutural distinto, ofertando, assim, diferentes estruturas de habitat para o seu fital.

Para ambos os ambientes, foram encontradas macroalgas com maiores valores de variáveis estruturais como altura, largura e peso e que ofertavam, também, uma maior complexidade de habitat, sendo para o ambiente recifal, *Bryothamnium triquetrum* e para o estuarino *Gracilaria domingensis*.

A relação entre o habitat e sua fauna associada tem sido um tema ecológico muito estudado ao longo dos anos (CHRISTIE; NORDERHAUG; FREDRIKSEN, 2009; PARKER; DUFFY; ORTH, 2001). A influência positiva da complexidade do habitat sobre a riqueza e abundância de macroinvertebrados do fital, já foi comprovada por diversos estudos realizados em ecossistemas marinhos (e.g. HECK; WETSTONE, 1977; CHEMELLO; MILAZZO, 2002) e de água doce (e.g. THOMAZ; CUNHA, 2010).

No entanto, sabe-se que para explorar a relação entre complexidade macroalgal e sua composição epifaunal associada, se faz necessário medir a complexidade, levando em conta dois aspectos fundamentais com relação à estrutura do habitat: a heterogeneidade e a arquitetura do habitat. A maioria dos estudos anteriores, relacionados a esse tema, abordaram a influência do habitat baseada em apenas um desses aspectos supracitados (e.g. CHEMELLO; MILAZZO, 2002; TANIGUCHI; TOKESHI, 2004; GESTOSO; OLABARRIA; TRONCOSO, 2010)

Com relação aos táxons estudados, todas as macroalgas diferiram em ambos os ambientes, ficando evidente a influência positiva da complexidade do habitat algal sobre a abundância de indivíduos associados. Algas consideradas mais complexas (*Bryothamnium triquetrum* - recifal; *Gracilaria domingensis* - estuário) apresentaram, também, a maior abundância de macroinvertebrados, corroborando com outros estudos, que demonstraram a influência da complexidade do habitat macroalgal sobre sua fauna associada (e.g. VEIGA;

RUBAL; SOUSA-PINTO, 2014; TORRES et al., 2015; MATIAS et al., 2015; CROOKS; CHANG; RUIZ, 2016).

Esta investigação demonstrou que tanto a disponibilidade de nichos gerada por um habitat-algal mais complexo, quanto o arranjo estrutural e tridimensional de suas frondes, contribuíram para o aumento da diversidade de organismos, conforme observado por outros estudos (e.g. GEE; WARWICK, 1994; HULL, 1997; DAVENPORT; PUGH; MCKECHNIE, 1996; ATTRILL; STRONG; ROWDEN, 2000; CHEMELLO; MILAZZO, 2002; HAUSER; ATTRILL; STRONG; ROWDEN, 2000; HOOPER; DAVENPORT, 2006; WARFE; BARMUTA; WOTHERSPOON 2008).

Similarmente a outros estudos (LEITE; TURRA, 2003; VEIGA; RUBAL; SOUSA-PINTO, 2014), constatou-se, ainda, que a complexidade do habitat é a variável que melhor explicou a abundância e riqueza da fauna associada as macroalgas; já que em ambos os ambientes, essa variável esteve quase sempre positivamente correlacionada com riqueza e abundância dos táxons de macroinvertebrados.

Além disso, pode-se observar que as macroalgas *Gracilaria domingensis* e *Bryothamnion triquetrum*, onde foi registrada a maior abundância de moluscos, apresentavam um acúmulo maior de sedimentos e também de epífitas, devido a maior área superficial e complexidade das mesas, fatores que podem também, estar relacionados à alta abundância e riqueza de espécies, tendo em vista que a presença de epífitas e epibiontes representam uma importante fonte de alimento para os organismos associados (ver THOMAZ; CUNHA, 2010).

Com relação à abundância total dos táxons de macroinvertebrados, observou-se que, no ambiente estuarino, ela apresentou valores maiores que no recifal. Acredita-se que este fato pode estar relacionado a própria biocomplexidade do ecossistema em questão. No ambiente estuarino, a oferta de micro-habitats propensos a implantação destes macroinvertebrados é bem menor, restringindo-se, basicamente, as raízes de mangue, conchas e bancos de lama. Por outro lado, no recife tem-se diversos ambientes no entorno, como: bancos de algas calcárias, recifes em macha, banco de fanerógamas marinhas, dentre outros. Sendo assim, as macroalgas se apresentam como sendo um habitat fundamental no estuário.

Estudos recentes têm mostrado a importância dos ambientes em torno dos bancos de macroalgas em ecossistemas recifais (e.g. JUNGERSTAM et al., 2014). Por isso, essa diferença na abundância de macroinvertebrados pode estar relacionada tanto com a composição subaquática, quanto pela própria espécie macroalgal. Percebeu-se a maior abundância de quatro grupos de macroinvertebrados: Polychaeta, Amphipoda, Echinodermata e Mollusca, similarmente ao encontrado em outros estudos (TANO et al., 2016; MATIAS et al., 2015),

sendo, no entanto: os Echinodermata mais abundantes para a área estuarina e os Polychaeta no ambiente recifal. Estudando mais especificamente o grupo dos moluscos, também se verificou uma maior abundância e riqueza no ambiente estuarino, provavelmente por motivos similares aos discutidos anteriormente.

A relação entre tamanho corporal e Dimensão Fractal pode ter forte influência sobre a estrutura da comunidade de macroinvertebrados (HALLEY et al., 2004). Pode-se examinar isto para o táxon dos moluscos, uma vez que se percebeu para o ambiente recifal uma maior abundância de indivíduos de maior tamanho nas macroalgas mais complexas. Porém, para o ambiente estuarino, averiguou-se uma maior abundância de indivíduos menores nas macroalgas mais complexas. Essas proporções podem indicar diferentes estratégias ecológicas desenvolvidas por esses indivíduos nos diferentes ecossistemas (GEE; WARWICK 1994; MCABENDROTH et al., 2005).

Isso posto, pode-se inferir a fundamental importância das macroalgas recifais e estuarinas na estruturação desses dois importantes ecossistemas marinhos, tendo em vista que elas ofertam suporte para uma gama de organismos associados, de acordo com seu arranjo estrutural e complexidade. Isto reforça que é fundamental a manutenção e conservação destes bancos de algas em ambos os ambientes estudados.

## 5. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, M. J.; GORLEY, R. N.; CLARKE, K. R. **PERMANOVA + for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods**. PRIMER-E. Plymouth, 2008.
- ATTRILL, M. J.; STRONG, J. A.; ROWDEN, A. A. Are macroinvertebrate communities influenced by seagrass structural complexity? **Ecography**, v. 23, n. 1, p. 114-121, 2000.
- BACKES, A.R.; BRUNO, O.M. Técnicas de estimativa da dimensão fractal: um estudo comparativo. **INFOCOMP Journal of Computer Science**, v.4, p.50–58, 2005.
- BROWN, B. L. Habitat heterogeneity and disturbance influence patterns of community temporal variability in a small temperate stream. **Hydrobiologia**, v. 586, n. 1, p. 93-106, 2007.
- CACABELOS, E. et al. Effects of habitat structure and tidal height on epifaunal assemblages associated with macroalgae. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 89, n. 1, p. 43-52, 2010.
- CAMARGO, J. M. R. D. et al. Morfologia da plataforma continental interna adjacente ao município de Tamandaré, sul de Pernambuco-Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 79-89, 2007.
- CHEMELLO, R.; MILAZZO, M. Effect of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal molluscs. **Marine Biology**, v. 140, n. 5, p. 981-990, 2002.
- CHRISTIE, H., NORDERHAUG, K.M., FREDRIKSEN S. Macrophytes as habitat for fauna. **Marine Ecology Progress Series**, v. 396, p. 221–234. 2009.
- CROOKS, J. A.; CHANG, A. L.; RUIZ, G. M. Decoupling the response of an estuarine shrimp to architectural components of habitat structure. **PeerJ**, v. 4, p. e2244, 2016.
- DAYTON, P. K. Competition, disturbance, and community organization: the provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. **Ecological Monographs**, v. 41, n. 4, p. 351-389, 1971.

DIAS, T. L. P., ROSA, R. D. S.; Damasceno, L. C. P. Aspectos socioeconômicos, percepção ambiental e perspectivas das mulheres marisqueiras da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (Rio Grande do Norte, Brasil). **Gaia Scientia**, v.1, n.1, p. 25-35, 2007.

DIAS, T. L. P.; GONDIM, A. I. Bleaching in scleractinians, hydrocorals, and octocorals during thermal stress in a northeastern Brazilian reef. **Marine Biodiversity**, v. 46, n. 1, p. 303-307, 2016.

DAVENPORT, J.; PUGH, P. J. A.; MCKECHNIE, J. Mixed fractals and anisotropy in subantarctic marine macroalgae from South Georgia: implications for epifaunal biomass and abundance. **Marine Ecology Progress Series**, v. 136, p. 245-255, 1996.

EDGAR, G. J. The ecology of south-east Tasmanian phytal animal communities I- Spatial organization on a local scale. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 70, p. 129–157, 1983a.

GEE, J.; WARWICK, R. Metazoan community structure in relation to the fractal dimensions of marine macroalgae. **Marine Ecology Progress Series**, p. 141-150, 1994.

GESTOSO, I.; OLABARRIA, C.; TRONCOSO, J. S. Effects of macroalgal identity on epifaunal assemblages: native species versus the invasive species *Sargassum muticum*. **Helgoland Marine Research**, v. 66, n. 2, p. 159, 2012.

HALLEY, J. M. et al. Uses and abuses of fractal methodology in ecology. **Ecology Letters**, v. 7, n. 3, p. 254-271, 2004.

HALAJ, J.; ROSS, D. W.; MOLDENKE, A. R. Importance of habitat structure to the arthropod food-web in Douglas-fir canopies. **Oikos**, v. 90, n. 1, p. 139-152, 2000.

Halley, J. M. et al. Uses and abuses of fractal methodology in ecology. **Ecology Letters**, v.7, n.3, p. 254-271, 2004.

HAUSER, A.; ATTRILL, M. J.; COTTON, P. A. Effects of habitat complexity on the diversity and abundance of macrofauna colonising artificial kelp holdfasts. **Marine Ecology Progress Series**, v. 325, p. 93-100, 2006.

HECK J.R, KENNETH, L.; WETSTONE, G. S. Habitat complexity and invertebrate species richness and abundance in tropical seagrass meadows. **Journal of Biogeography**, p. 135-142, 1977.

HOOPER, G. J.; DAVENPORT, J. Epifaunal composition and fractal dimensions of intertidal marine macroalgae in relation to emersion. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 86, n. 6, p. 1297-1304, 2006.

HULL, S. L. Seasonal changes in diversity and abundance of ostracods on four species of intertidal algae with differing structural complexity. **Marine Ecology Progress Series**, v. 161, p. 71-82, 1997.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. 2004. Mapeamento geoambiental da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão. Relatório Técnico, Natal, Brasil, 23p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2015. <http://www.inmet.gov.br/portal/>

JELINEK, H., D. Cornforth & L. Weymouth, 2003. Fractop v. 0.3. <http://seal.tst.adfa.edu.au/fractop>.

JUNGERSTAM, J. et al. Is habitat amount important for biodiversity in rocky shore systems? A study of South African mussel assemblages. **Marine biology**, v. 161, n. 7, p. 1507-1519, 2014.

KOVALENKO, K. E.; THOMAZ, S. M.; WARFE, D. M. Habitat complexity: approaches and future directions. **Hydrobiologia**, v. 685, n. 1, p. 1-17, 2012.

KRAUSMAN, P. R. Some basic principles of habitat use. **Grazing behavior of livestock and wildlife**, v. 70, p. 85-90, 1999.

LASLEY-RASHER, R. et al. Predation constrains host choice for a marine mesograzer. **Marine Ecology Progress Series**, v. 434, p. 91-99, 2011.

LEITE, F. P. P.; TURRA, A.. Temporal variation in *Sargassum* biomass, Hypnea epiphytism and associated fauna. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 4, p. 665-671, 2003.

LEVIN, Lisa A. et al. The function of marine critical transition zones and the importance of sediment biodiversity. **Ecosystems**, v. 4, n. 5, p. 430-451, 2001.

LOKE, L. H. et al. Complexity for artificial substrates (CASU): software for creating and visualising habitat complexity. **PLoS One**, v. 9, n. 2, p. e87990, 2014.

LUCENA, L. A. F. D. Estrutura e composição de macroalgas de manguezais hipersalinos do Rio Grande do Norte, Brasil: diversidade e suas correlações com as variáveis ambientais (Dissertação de mestrado). 2012.

MACARTHUR, R. H. Patterns of species diversity. **Biological Reviews**, v. 40, n. 4, p. 510-533, 1965.

MATIAS, M. G.; Arenas, F., RUBAL, M.; Pinto, I. S.. Macroalgal composition determines the structure of benthic assemblages colonizing fragmented habitats. **PloS one**, v. 10, n. 11, p. e0142289, 2015.

MCABENDROTH, L. et al. Does macrophyte fractal complexity drive invertebrate diversity, biomass and body size distributions? **Oikos**, v. 111, n. 2, p. 279-290, 2005.

MIKKELSON, P.; BIELER, R. Seashells of Southern Florida: Living marine mollusks of the Florida Keys and adjacent regions. **Bivalves. Princeton Univ. Press., New Jersey**, 2008.

NYBERG, C. D.; THOMSEN, M. S.; WALLENTINUS, I. Flora and fauna associated with the introduced red alga *Gracilaria vermiculophylla*. **European Journal of Phycology**, v. 44, n. 3, p. 395-403, 2009.

PARKER, J. D.; DUFFY, J. E.; ORTH, R. J. Plant species diversity and composition: experimental effects on marine epifaunal assemblages. **Marine Ecology Progress Series**, v. 224, p. 55-67, 2001.

RIOS, E. de C. **Compendium of Brazilian sea shells**. Editora Evangraf, 2009.

SCHARF, F. S.; MANDERSON, J. P.; FABRIZIO, M. C. The effects of seafloor habitat complexity on survival of juvenile fishes: species-specific interactions with structural refuge. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 335, n. 2, p. 167-176, 2006.

ST PIERRE, J. I.; KOVALENKO, K. E. Effect of habitat complexity attributes on species richness. **Ecosphere**, v. 5, n. 2, p. 1-10, 2014.

TANO, S., et al. Tropical seaweed beds are important habitats for mobile invertebrate epifauna. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 183, p. 1–12, 2016.

TANIGUCHI, H.; TOKESHI, M. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. **Freshwater Biology**, v. 49, n. 9, p. 1164-1178, 2004.

THOMAZ, S. M.; CUNHA, E. R. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 2, p. 218-236, 2010.

TORRES, A. et al. The role of annual macroalgal morphology in driving its epifaunal assemblages. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 464, p. 96-106, 2015.

TUNNELL, J. W. et al. **Encyclopedia of Texas seashells: identification, ecology, distribution, and history**. Texas A&M University Press, 2010. ISBN 1603443371.

VEIGA, P.; RUBAL, M.; SOUSA-PINTO, I. Structural complexity of macroalgae influences epifaunal assemblages associated with native and invasive species. **Marine Environmental Research**, v. 101, p. 115-123, 2014.

WARFE, D.; BARMUTA, L.; WOTHERSPOON, S. Quantifying habitat structure: surface convolution and living space for species in complex environments. **Oikos**, v. 117, n. 12, p. 1764-1773, 2008.

## CAPÍTULO II

### Influência da sazonalidade sobre a fauna de macroinvertebrados associados a diferentes espécies macroalgais estuarinas

#### RESUMO

As comunidades de macroalgas têm seus ciclos de vida marcados por mudanças temporais, que incluem: sucessão e sazonalidade. Os indivíduos associados a elas também sofrem estas influências. Nos ambientes estuarinos, as algas têm uma estreita relação com as comunidades marinhas, desempenhando um importante papel na estruturação de comunidades e coexistência de muitas espécies. As principais hipóteses desse trabalho são: 1) A comunidade de macroinvertebrados e moluscos difere com relação aos descritores ecológicos de riqueza, abundância e diversidade nos períodos de seca e chuva no ambiente estuarino, uma vez que esse ambiente sofre uma influência da sazonalidade em sua composição, sendo mais abundantes no período chuvoso devido ao maior aporte de nutrientes provenientes da entrada de água doce das chuvas; 2) Macroalgas coletadas no período chuvoso abrigam moluscos com tamanho corporal maior, devido ao maior aporte de nutrientes provenientes da entrada de água doce das chuvas neste ambiente. O presente estudo foi desenvolvido no estuário do Rio da Casqueira, no município de Macau, Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste, Brasil. As coletas ocorreram nos meses de maio e outubro de 2017 e fevereiro e março de 2018, respectivamente, os períodos de seca e de chuva no referido ambiente. Foram coletadas um total de três espécies macroalgais: *Solieria filiformis*, *Gracilaria cuneata* e *Gracilaria domingensis*. Os resultados apontam que as macroalgas diferem com relação a sua morfologia e abundância de macroinvertebrados nos períodos sazonais analisados, assim como, o grupo dos moluscos, sendo o período chuvoso o que apresentou maior abundância (1.246). No entanto, o período seco obteve uma maior riqueza de espécies (39 spp.). Os exemplares foram em sua maioria micro gastrópodes com tamanho variando de 1-5mm, sendo o período com maior média de tamanho o seco. Em ambos os períodos, os gastropodes *Turbonilla fasciata*, *Alaba incerta* e *Caecum ryssotitum* representaram as espécies mais abundantes; as quais foram responsáveis pela dissimilaridade entre os períodos. Dentre os bivalves, os mais representativos em termos de abundância foram *Sphenia fragilis* e *Anomalocardia flexuosa*. Portanto, observou-se que a sazonalidade apresentou uma influência na composição da comunidade de macroinvertebrados, associados a diferentes espécies macroalgais.

**Palavras-chave:** Macroalgas, Estuários, Período Seco, Período Chuvoso Micro gastrópodes, Morfologia.

## 1. INTRODUÇÃO

As comunidades de macroalgas marinhas têm seus ciclos de vida marcados por mudanças temporais, que incluem sucessão e sazonalidade (NODA et al., 2003). Sabe-se que, da mesma forma, os indivíduos associados a essas algas também sofrem a influência dessa sazonalidade. Dessa forma, nos ambientes marinhos e estuarinos, as algas têm uma estreita relação com as comunidades marinhas, desempenhando um importante papel na estruturação de comunidades e coexistência de muitas espécies (BULLERI et al., 2006).

Os bancos de macroalgas têm sido estudados no mundo todo, devido a sua importância dentro dos ecossistemas, provendo suporte para uma grande diversidade de organismos. Dentre os indivíduos associados às macroalgas estão muitas espécies de invertebrados bentônicos e peixes carnívoros e herbívoros, importantes na estruturação e dinâmica do ecossistema marinho (ANTIT et al., 2013).

Esses organismos, na maioria das vezes, utilizam o espaço das algas apenas como microhabitat e não como alimento, mesmo alguns táxons herbívoros. No caso dos carnívoros, por exemplo, eles se alimentam de espécies ou sedimentos acumulados nos talos algais, que também servem como habitat suporte (TANO et al., 2016).

Alguns estudos têm focado a sazonalidade das assembleias macroalgais ou suas mudanças temporais, e, conseqüentemente, mudanças com relação à abundância de espécies associadas a elas (e.g. HARDWICK-WITMAN; MATHIESON, 1983; NETO, 2000; PEDERSEN; SNOEIJIS, 2001; GUERRA-GARCÍA et al., 2011). Sabe-se que, muitos macroinvertebrados marinhos apresentam seus próprios ciclos de vida associados ao ciclo da macroalga, sendo por isso, a sazonalidade macroalgal influenciadora de variações na composição de diversos taxa (JENSEN, 1997).

De acordo com Edgar (1983), as variações temporais das populações participantes do fital podem ser causadas pela sazonalidade não apenas do substrato algal, mas também, pela sazonalidade na sua atividade reprodutiva e recrutamento. Percebe-se que, ao contrário de habitats entre marés em climas temperados e subtropicais, manguezais tropicais são submetidos a sazonalidade distinta no que diz respeito à precipitação e temperatura. Tipicamente, os manguezais tropicais recebem poucos meses de ocorrência de chuva seguidos por vários meses de tempo seco (ALONGI, 1987). Os efeitos sazonais causados por estes períodos ainda são poucos estudados no que diz respeito à comunidade bentônica.

Mais especificamente na região Nordeste do Brasil, observam-se dois períodos sazonais bem distintos, sendo eles: o período chuvoso entre junho e setembro, e o período seco com

maior duração, geralmente de outubro a maio. No Brasil, alguns estudos abordaram o efeito da sazonalidade sobre a fauna associada a macroalgas, porém, todos estão focados no ambiente marinho, especialmente praias rochosas (e.g. LEITE; TURRA, 2003; LEITE, et al., 2009).

Por estas razões, o objetivo do presente estudo foi verificar a influência da sazonalidade sobre a fauna de macroinvertebrados associados à macroalgas estuarinas, a fim de entender as variações na composição e abundância desses organismos associados a esses microhabitats nos períodos sazonais de seca e chuva. As principais hipóteses desse trabalho são: 1) A comunidade de macroinvertebrados e moluscos difere com relação aos descritores ecológicos de riqueza, abundância e diversidade nos períodos de seca e chuva no ambiente estuarino, uma vez que esse ambiente sofre uma influência da sazonalidade em sua composição, sendo mais abundantes no período chuvoso devido ao maior aporte de nutrientes provenientes da entrada de água doce das chuvas; 2) Macroalgas coletadas no período chuvoso abrigam moluscos com tamanho corporal maior, devido ao maior aporte de nutrientes provenientes da entrada de água doce das chuvas neste ambiente.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

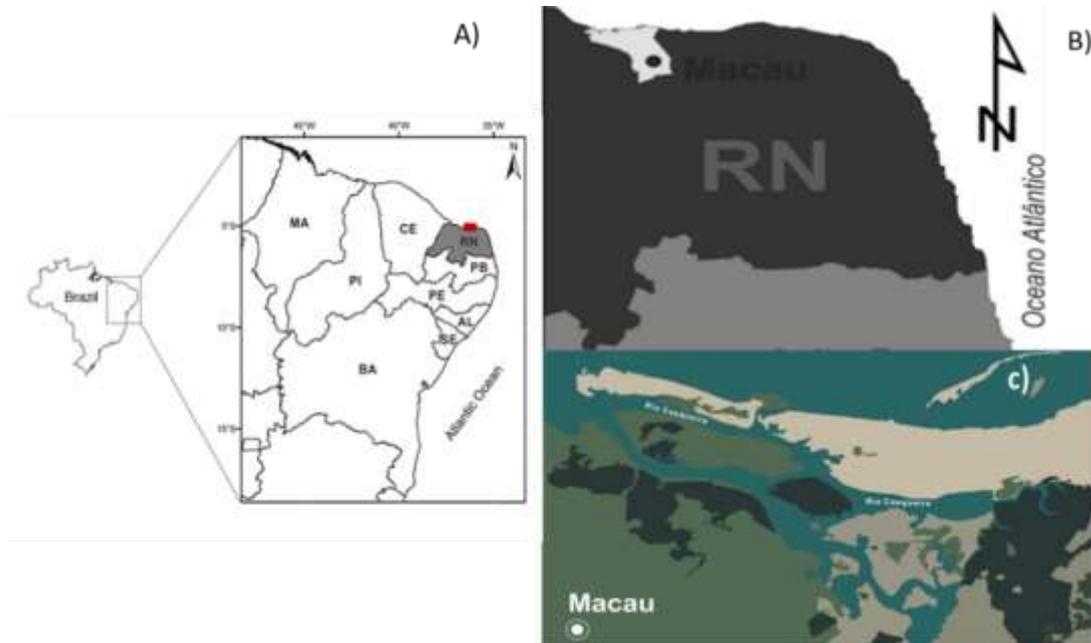
### **2.1. Área de estudo**

Este trabalho foi desenvolvido no estuário do Rio da Casqueira (5°05'37"S 36°32'21"W), localizado no município de Macau, litoral do Estado do Rio Grande do Norte (**Fig. 1**). O estuário do Rio da Casqueira é margeado por manguezais em parte de sua extensão. Ele está sob influência de salinas em atividade e empreendimentos de carcinicultura desativados. A área está inserida em uma região caracterizada pelo clima semiárido, com altas taxas de evaporação e baixo índice pluviométrico (IDEMA, 2004). A precipitação média anual fica em torno de 480 mm com curto período chuvoso (de fevereiro a maio) e um prolongado período seco (junho a janeiro) (INMET, 2015).

O referido estuário constitui um braço de mar que adentrou ao continente e desenvolveu características estuarinas, estando sujeito a ação das marés e a entrada de água doce proveniente do lençol freático subjacente. Este estuário caracteriza-se como negativo ou inverso, uma vez que a salinidade aumenta rio acima, variando entre 38 e 50 (DIAS, 2007).

Na presente área de estudo, as macroalgas são um importante componente bentônico nos canais principais do rio e nas raízes de mangue. A composição das espécies ao longo do

ano é variável, havendo dominância de determinadas espécies no curto período de chuvas e de outras no longo período seco (LUCENA, 2012).



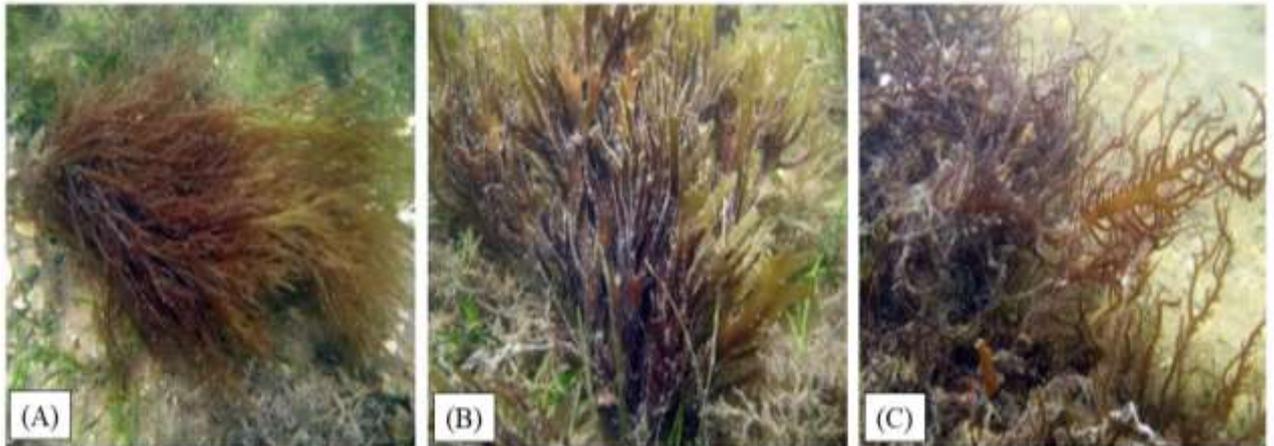
**Figura 1.** Localização da área de estudo no Nordeste brasileiro (A). Estado do Rio Grande do Norte (B) Rio da Casqueira, Macau (C). **Fonte:** ArcGiz 10.0.

## 2.2. Período amostral e processamento das macroalgas

As coletas ocorreram nos meses de maio e outubro de 2017 e fevereiro e março de 2018. Ambos os períodos correspondem aos meses de seca e chuva. Sendo estudados, portanto, dois períodos de seca e dois chuvoso. As coletas foram realizadas em período diurno durante a baixa-mar, por meio mergulho livre (*snorkeling*), sendo as algas coletadas e acondicionadas em sacos plásticos, e, posteriormente, lavadas em peneira com malha de 250 e 500  $\mu\text{m}$ , para remoção de parte do sedimento. Em seguida foram fixadas e conservadas em formalina a 4% e transportadas até o Laboratório de Biologia Marinha da Universidade Estadual da Paraíba. Em laboratório, as frondes algais foram lavadas em água corrente e a fauna associada foi retirada com ajuda de pinças sob iluminação do estereomicroscópio. Os espécimes foram removidos das frondes e conservados em álcool a 70%.

### 2.3. Caracterização das macroalgas e sua estrutura

Foram estudadas três espécies macroalgais, 60 frondes no período seco e 60 no período chuvoso. As espécies de macroalgas recifais analisadas foram *Gracilaria domingensis*, *Gracilaria cuneata* e *Solieria filiformis* (**Fig. 2**).



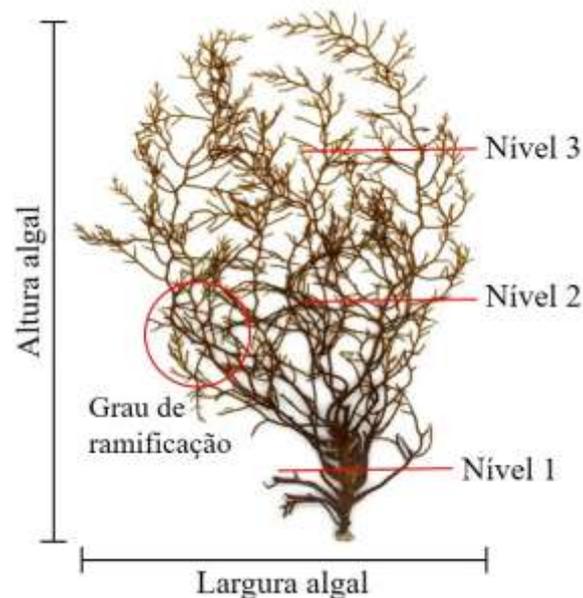
**Figura 2.** Espécies de macroalgas estudadas no ambiente estuarino: (A) *Solieria filiformis* (B) *Gracilaria cuneata* e (C) *Gracilaria domingensis*. Fotos: Thelma Dias.

Foram mensurados diferentes atributos morfológicos de cada alga, tendo como base os trabalhos de Edgar (1983a) e Chemello e Milazzo (2002), utilizando os atributos morfológicos analisados demonstrados na **Tabela 1** e **Figura 3** (abaixo). Também foi obtido o Peso Úmido de todas as réplicas macroalgais (Peso), referente ao peso algal, após a remoção do excesso de água (30 minutos em peneira e 20 minutos sobre papel toalha) presente nas frondes.

Os invertebrados associados às macroalgas foram identificados em grandes grupos taxonômicos, com exceção do táxon Mollusca foi identificado até nível de espécie a partir da literatura atualizada (e.g. MIKKELSEN; BIELER, 2008; RIOS, 2009; TUNNELL Jr. et al., 2010).

**Tabela 1.** Atributos algais analisados três espécies estudadas no estuário do Rio da Casqueira.

Código	Atributo	Descrição
AA	Altura algal	Medida da macroalga desde a base até o topo.
LA	Largura algal	Medida do tamanho do talo de uma extremidade lateral a outra da fronde.
LT	Largura do talo	Medida que considera a espessura do eixo principal da alga em três níveis (inferior (LTNV1), intermediário (LTNV2) e superior (LTNV3), ao longo de sua altura).
NR	Número de ramos	Contabiliza o número de ramos emergentes, contados em três níveis (inferior (NRNV1), intermediário (NRNV2) e superior (NRNV3) a partir do eixo basal.

**Figura 3.** Desenho esquemático de uma alga ilustrando alguns dos parâmetros analisados para verificar a complexidade estrutural do talo a partir de sua estrutura morfológica. **Ilustração:** Tristan Le Goff © 2005

## 2.4. Análise dos dados

A fim de analisar a influência da sazonalidade do ambiente nas espécies de macroalgas estudadas e sua fauna associada, foram realizados os seguintes testes estáticos: Para verificar se existe diferença nas variáveis morfométricas quantificadas nas três espécies de macroalgas nos períodos sazonais analisados, foi empregado um teste de PERMANOVA, através do teste principal com 9999 permutações de Monte Carlo, após transformação dos dados em  $\log(x+1)$  e emprego de Distância Euclidiana, tendo dois fatores (período seco e período chuvoso. Uma

PCA também foi realizada a fim de observar a distribuição das réplicas com relação aos atributos morfológicos nos períodos estudados.

A rotina DIVERSE foi rodada a fim de mensurar os índices ecológicos de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e Riqueza de Margalef ( $d$ ) para os moluscos, entre os períodos sazonais. A SIMPER foi empregada para descrever a similaridade ou dissimilaridade entre as algas de acordo com os taxa de invertebrados e a malacofauna.

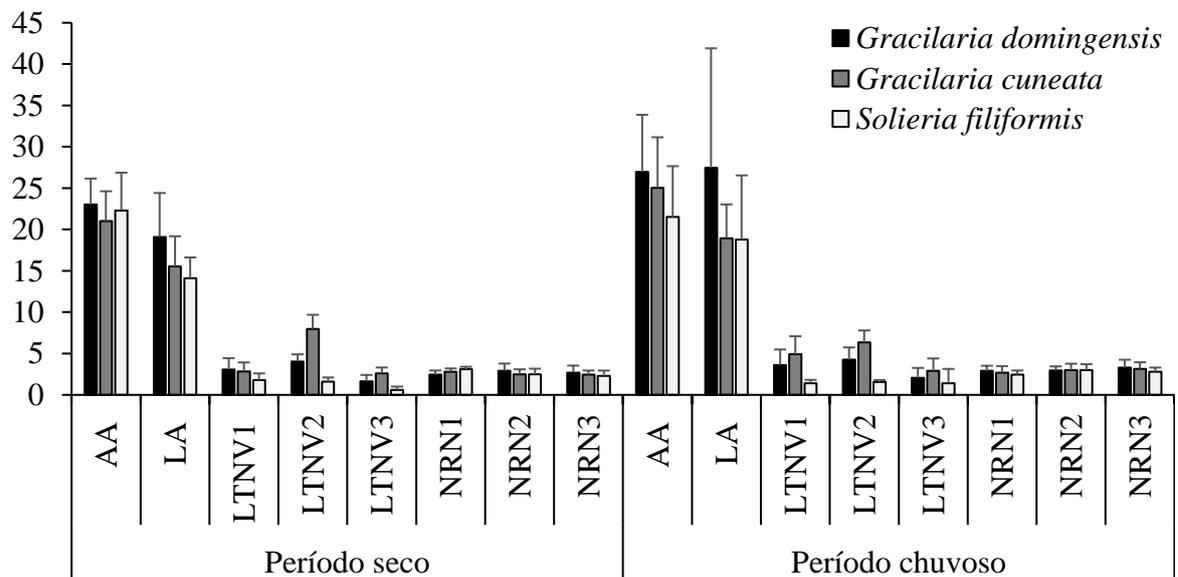
Além disso, para verificar a relação entre a complexidade do habitat e a abundância de macroinvertebrados, moluscos e tamanho corporal dos moluscos com os períodos seco e chuvoso, foi utilizado uma ANCOVA. Todos os testes foram realizados no Primer 6.0 +PERMANOVA, exceto a ANCOVA, realizado no Programa R.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Estrutura das macroalgas

As três espécies macroalgais estudadas (*G. domingensis*, *G. cuneata* e *S. filiformis*), apresentaram uma estrutura de talo com atributos morfológicos distintos para ambos os períodos de seca e chuva. Observando cada variável individualmente e como elas se comportaram nas estações sazonais, percebe-se que: a Altura Algal (AA), Largura Algal (LA), Largura do Talo no nível 1 (LTV1), Largura do Talo no nível 2 (LTV2), Número de Ramos no nível 3 (NRN1) obtiveram maiores valores para o período chuvoso. Os demais atributos (LTV2, NRN2 e NRN3) foram mais elevados no período seco.

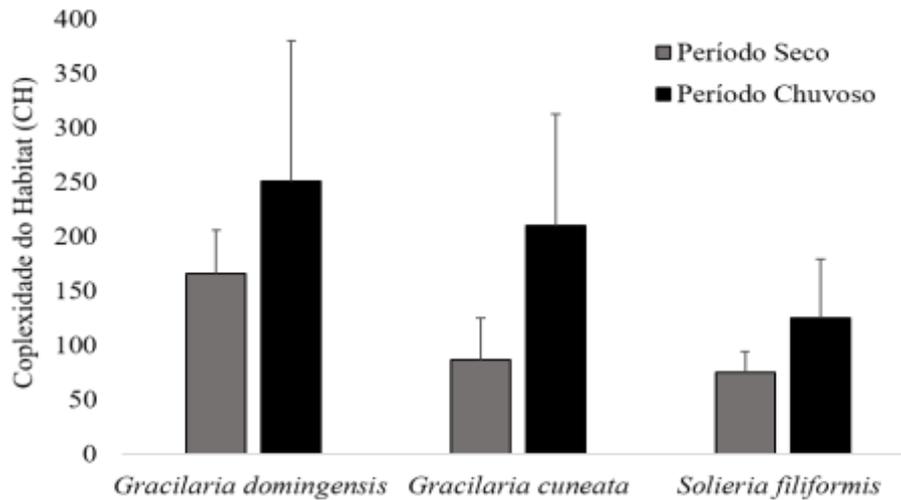
No que diz respeito a variável Peso, os maiores valores médios foram registrados para o período chuvoso, tendo *G. domingensis* o maior Peso em ambos os períodos (Fig. 4)



**Figura 4.** Valores médios ( $\pm$ DP) dos atributos morfológicos nas três espécies de macroalgas estuarinas estudadas, nos períodos sazonais seco e chuvoso. Códigos dos atributos na tabela 1.

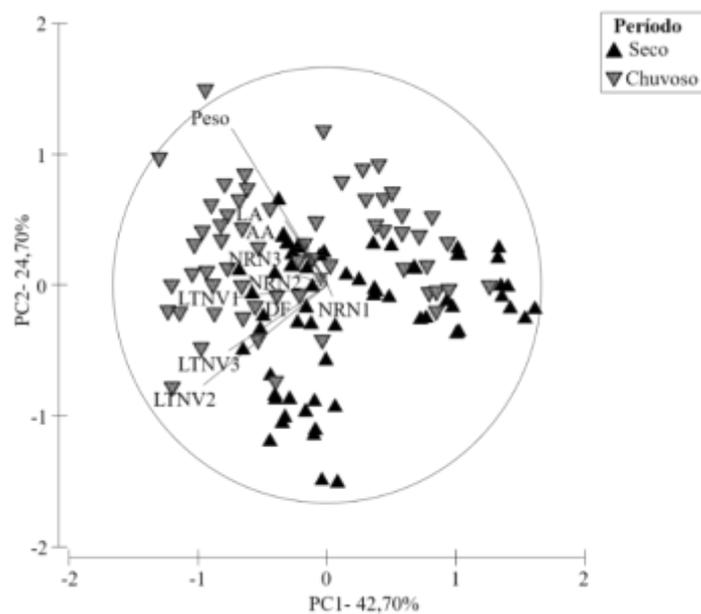
Quando calculado o índice de complexidade para as macroalgas em ambos os períodos, verificou-se que todas elas apresentaram maiores valores de complexidade no período chuvoso. A macroalga *Gracilaria domingensis* foi a que apresentou os maiores valores desse descritor,

tanto no período seco (166,48) quanto no chuvoso (251,08) e *Solieria filiformis*, registrou os menores valores (75,51; 125,15), respectivamente. (Fig. 5).



**Figura 5.** Valores médios ( $\pm$ DP) da complexidade do habitat nas três espécies macroalgais estudados nos períodos sazonais de seca e chuva

As réplicas macroalgais demonstraram uma separação entre cada período sazonal, formando assim, dois distintos agrupamentos com um percentual de explicação dos eixos PC1 e 2 de 67,40%, (Fig. 6).



**Figura 6.** Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos morfológicos nas três espécies de macroalgas estuarinas estudadas, nos períodos sazonais seco e chuvoso.

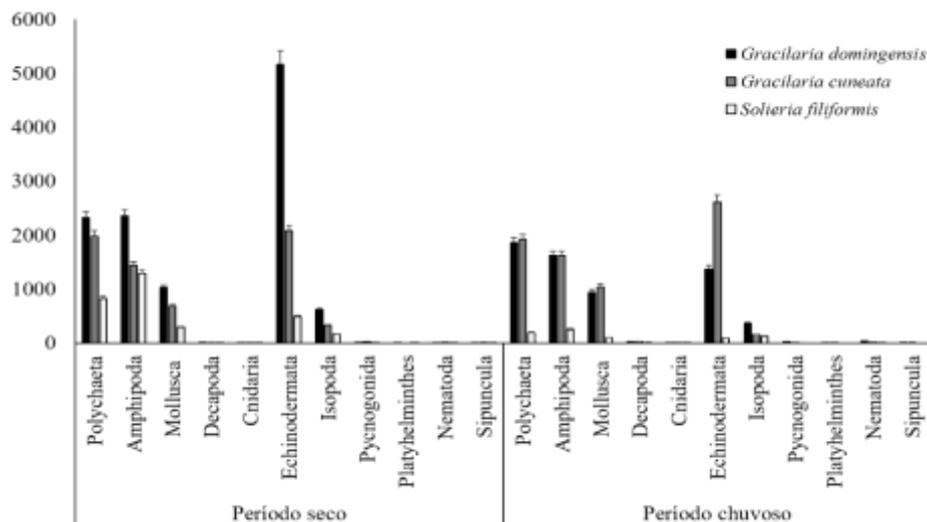
Diante do agrupamento das réplicas, com o teste de significância a posteriori observou-se que tanto as variáveis morfológicas em conjunto (Pseudo- $F_{1,118} = 10,025$ ;  $p = 0,001$ ) quanto Índice de Complexidade do Habitat ( $F_{1,118} = 37,61$ ,  $p < 0,001$ ) das macroalgas, variaram significativamente entre os períodos seco e chuvoso.

### 3.2. Composição da comunidade de invertebrados nos dois períodos sazonais estudados

Foram encontrados nos dois períodos sazonais analisados um total de 35.592 espécimes divididos em 11 taxa (**Fig.7**). Destes 21.163 contabilizados no período seco e 14.492 no período chuvoso. Portanto, o período seco foi o que apresentou uma maior abundância geral de indivíduos.

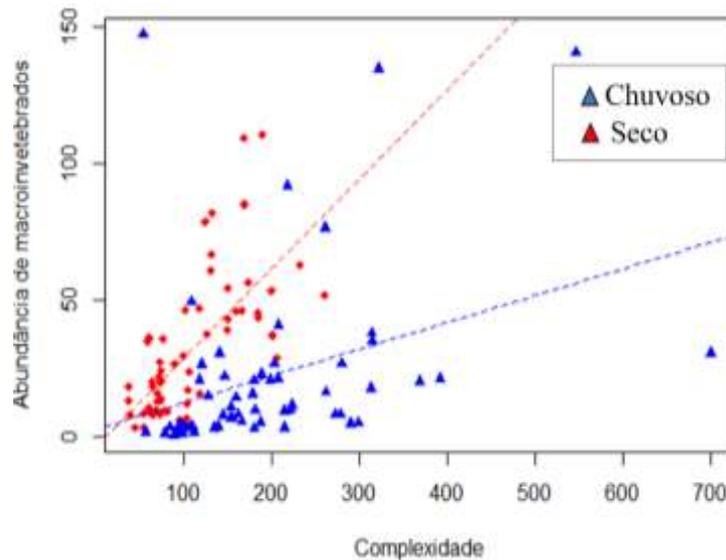
Os taxa mais representativos em termos de abundância foram os mesmos para ambos os períodos: Echinodermata (PS = 7.729; PC = 4.065), Polychaeta (PS = 5.122; PC = 3.965), Amphipoda (PS = 5.082; PC = 3.498), e Mollusca (PS = 2.001; PC = 2075).

Em ambos os períodos, o grupo mais abundante foi o dos Echinodermata (PS = 7.729; PC = 4.065). Quando se analisadas as algas de maneira específica, percebe-se que *G. domingensis* teve a maior abundância de macroinvertebrados em ambos os períodos (PS = 11.528; PC = 6.262) e *S. filiformis* os menores valores (PS = 3.075; PC = 754). No entanto, a macroalga *G. cuneata* apresentou maiores valores de abundância no período chuvoso (PS = 6.570; PC = 7.413).



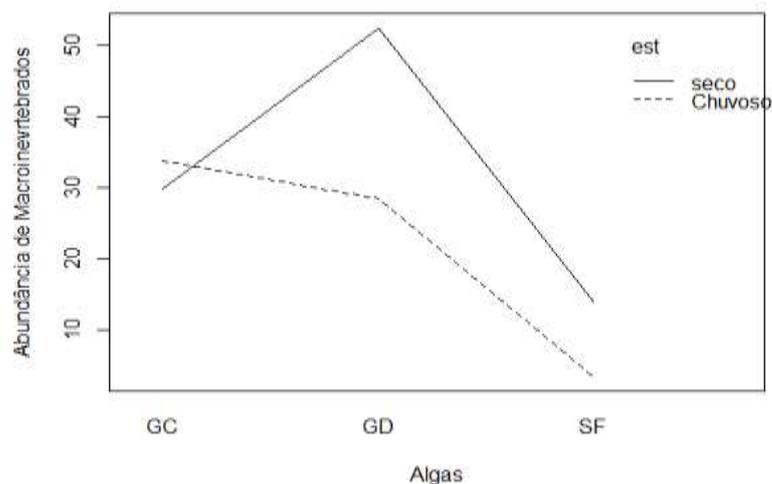
**Figura 7.** Abundância geral de macroinvertebrados das três espécies de macroalgas estuarinas estudadas, nos períodos sazonais seco e chuvoso.

De forma geral, houve uma diferença significativa com relação a abundância de macroinvertebrados nos períodos sazonais estudados (Pseudo- $F_{1,118} = 93,59$ ;  $p = 0,002$ ). Constatou-se que a abundância de macroinvertebrados variou de acordo com as estações sazonais, mas que ela também manteve dependência ( $F_{1,116} = 27,70$ ;  $p = 0,006$ ) com a complexidade. Podemos perceber no gráfico que conforme aumenta a complexidade aumenta a abundância, mas isso aumenta mais rápido no período seco (Fig. 8).



**Figura 8-** Relação entre a abundância de macroinvertebrados com a complexidade do habitat nos períodos seco e Chuvoso.

Quando analisada a influência das algas retirando o fator complexidade. Constatou-se que tanto a estação do ano quanto a espécie macroalgal exercem influência sobre a abundância dos organismos ( $F_{1,116} = 2,91$ ;  $p = 0,05$ ) (Fig. 9).

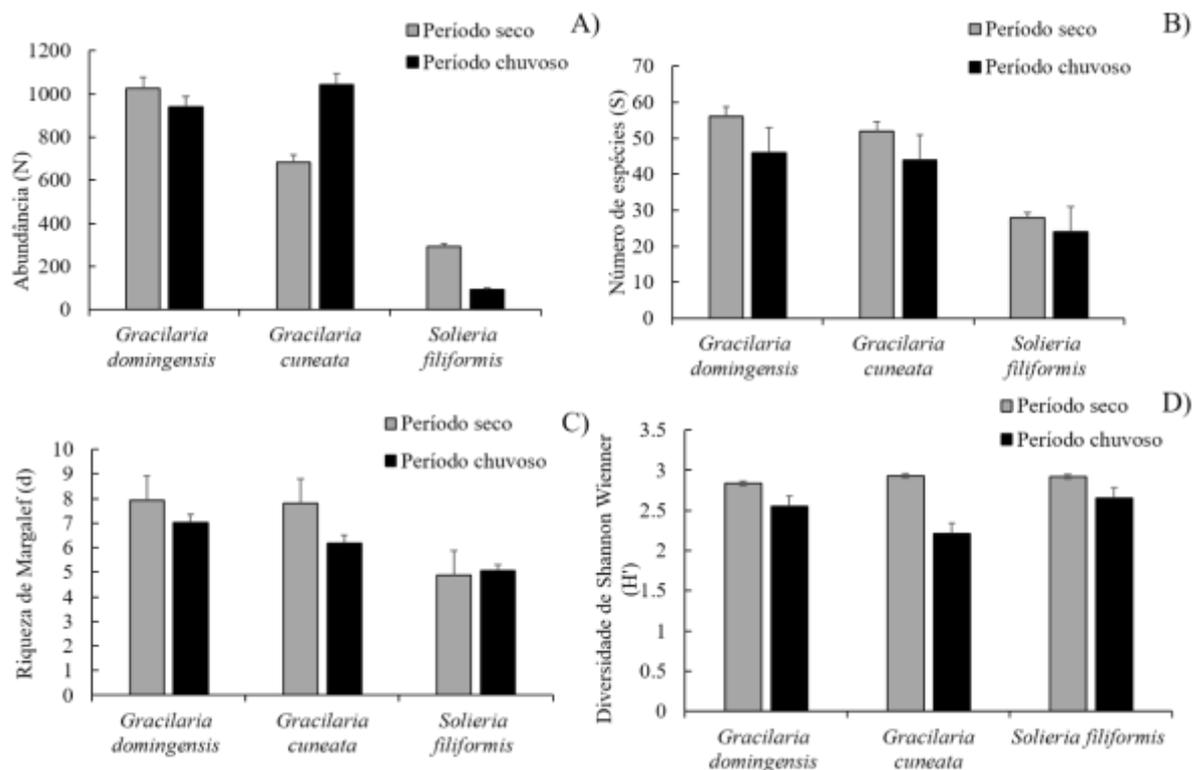


**Figura 9-** Relação entre as espécies macroalgais e abundância de macroinvertebrados em ambos os períodos.

### 3.3. Composição da comunidade de moluscos nos dois períodos sazonais

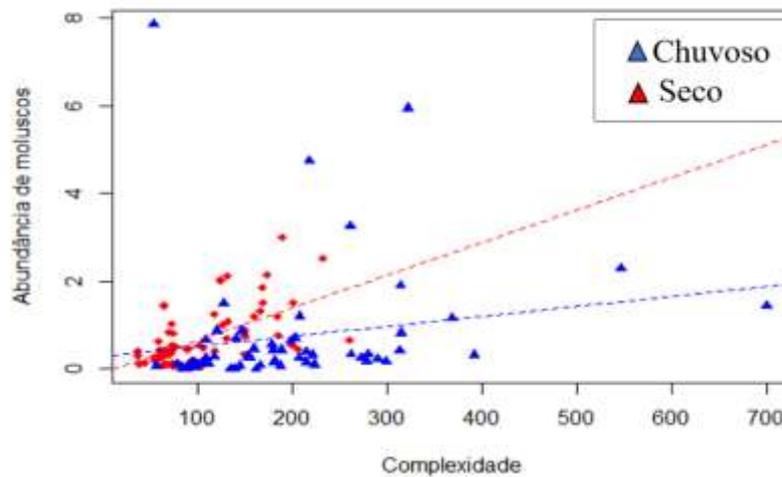
Foi encontrado um total de 4.078 indivíduos nas duas estações, sendo mais expressivos, no período chuvoso (PS = 2.001; PC = 2077), diferentemente dos demais taxa encontrados (**Fig. 10A**). Os moluscos encontrados nos dois períodos estiveram distribuídos em três classes: Gastropoda, Polyplacophora, Bivalvia e Scaphopoda e agrupados em 44 famílias, 80 gêneros e 97 espécies (**Apêndice III**). Constatou-se também, que a classe de moluscos mais abundantes em ambos os períodos foi a dos Gastropoda seguida pelos Bivalvia.

No entanto, quando se avaliou as macroalgas separadamente, pode-se constatar que *G. cuneata* apresentou uma abundância maior no período chuvoso; enquanto as outras duas algas apresentaram maiores valores para o período seco (**Fig. 10A**). Quando analisado o número de espécies, percebe-se que todas as macroalgas apresentaram valores maiores no período seco (**Fig. 10B**). Com relação aos outros descritores ecológicos de Diversidade de Shannon-Wiener e Riqueza de Margalef, constatou-se que, de forma geral, o período seco apresentou os maiores valores, com exceção da alga *S. filiformis* que apresentou Diversidade de Margalef maior no período chuvoso. No entanto, verificou-se a posteriori que esta diferença não foi significativa (**Fig. 10C e D**).



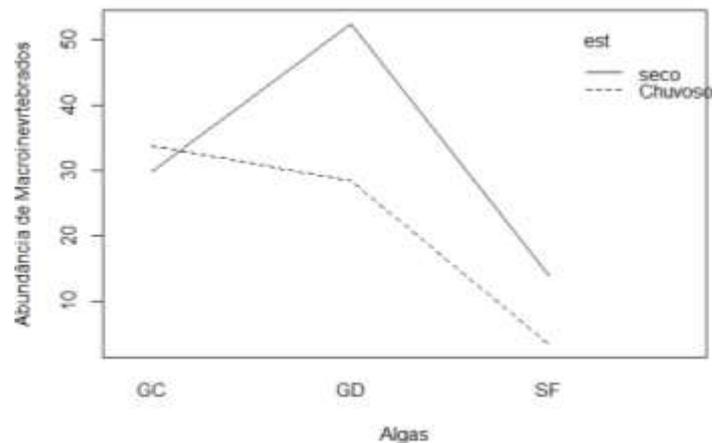
**Figura 10.** (A) Abundância de indivíduos, (B) número de espécies, (C) riqueza de espécies de Margalef e (D) diversidade de Shannon-Wiener da malacofauna nos períodos seco e chuvoso no estuário do Rio da Casqueira, Macau, Rio Grande do Norte.

Verificou-se que apesar de abundância de moluscos ser diferente nos períodos (Pseudo- $F_{1,188} = 6,3034$ ;  $p = 0,001$ ), ela não apresentou uma variação evidente quando testados em conjunto com os fatores períodos sazonais e complexidade, fato que pode indicar que essa abundância está mais correlacionada com complexidade do que com a estação do ano ( $F_{1,116} = 8,41$ ;  $p = 0,004$ ) (**Fig.11**).



**Figura 11-** Relação entre a abundância de moluscos com a complexidade nos períodos seco e chuvoso.

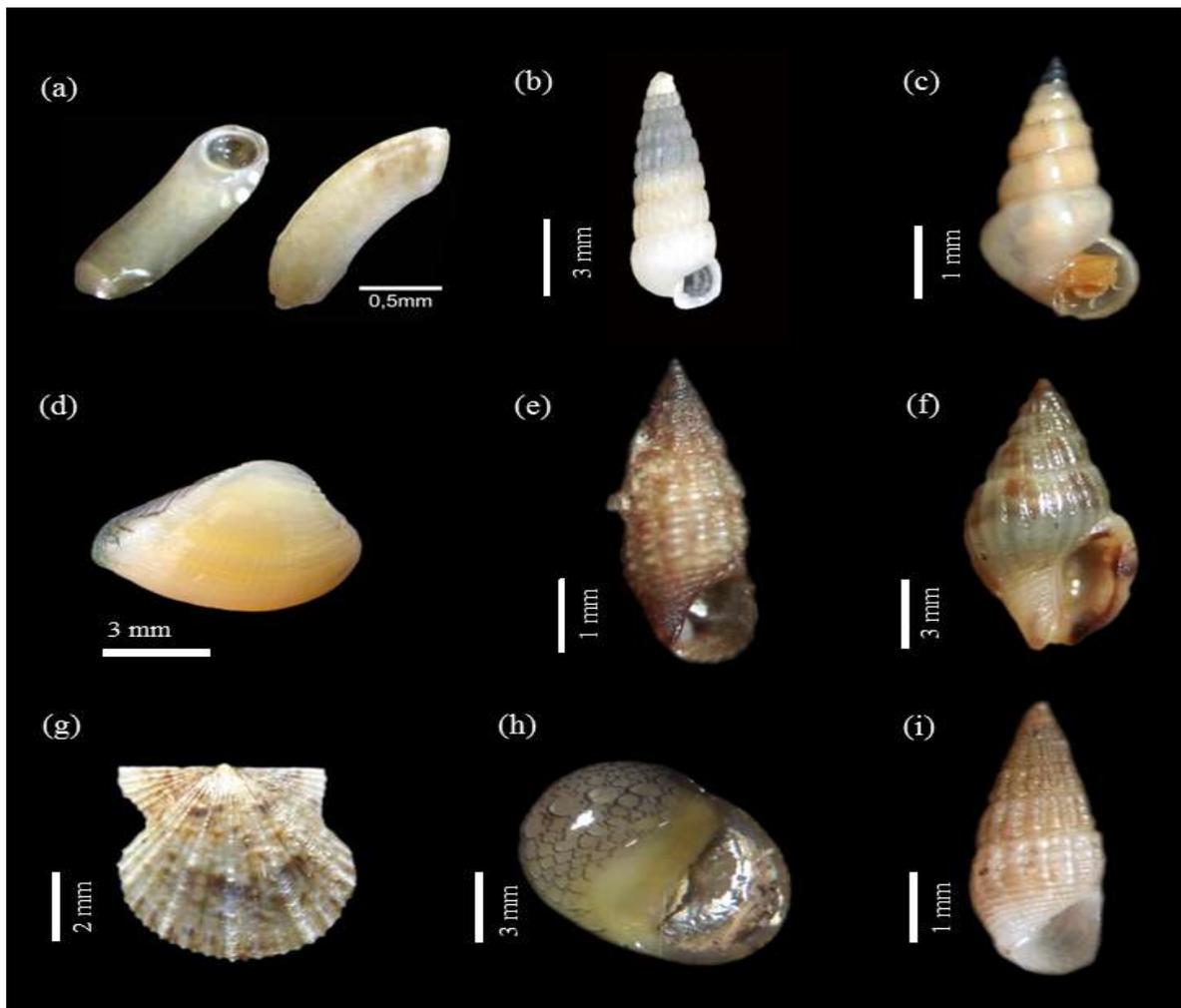
Quando analisado apenas a espécie macroalgal e sua relação com a abundância de moluscos, percebeu-se que não houve diferença entre as estações do ano. Existe diferença entre as espécies de algas que independe do período chuvoso ou seco (Pseudo- $F_{1,116} = 7,91$ ;  $p = 0,006$ ) (**Fig.12**)



**Figura 12-** Relação entre as espécies macroalgais e abundância de moluscos em ambos os períodos.

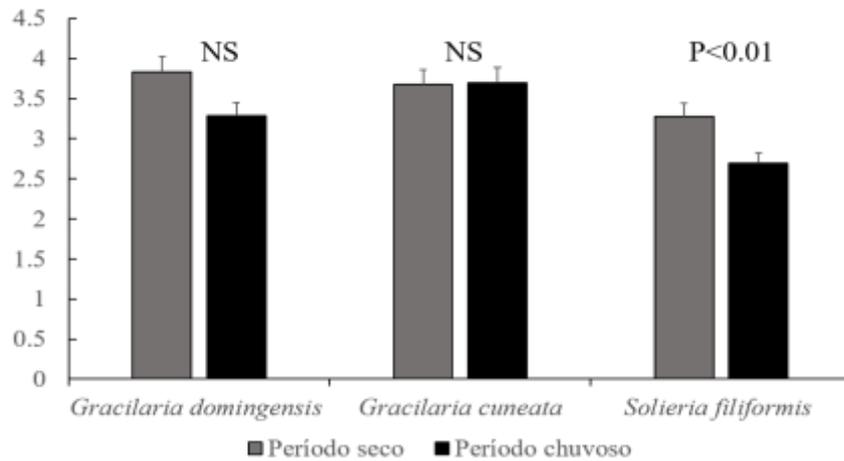
As espécies de gastrópodes mais representativas, em termos de abundância em ambos os períodos, foram *Turbonilla fasciata*, *Caecum ryssotitum* e *Alaba incerta*, o que pode ser reforçado pelo teste de SIMPER. Este mostrou uma porcentagem de dissimilaridade entre os períodos de 74.67%, sendo as espécies supracitadas as principais responsáveis. Ainda, dentro o grupo dos gastrópodes, pode-se destacar a presença de um número expressivo de opistobrânquios em ambos os períodos, sendo encontrado um total de 52 indivíduos agrupados em 12 espécies, sendo a espécie mais abundante *Phyllaplysia engeli* (94 espécimes) (Apêndice III/Fig. 13).

Para a classe dos bivalves, *Sphenia fragilis*, *Anomalocardia flexuosa* e *Musculus lateralis*, obtiveram maiores valores de abundância, porém, os dois primeiros foram mais abundantes no período chuvoso, e o outro no período seco (Apêndice III/Fig. 13).



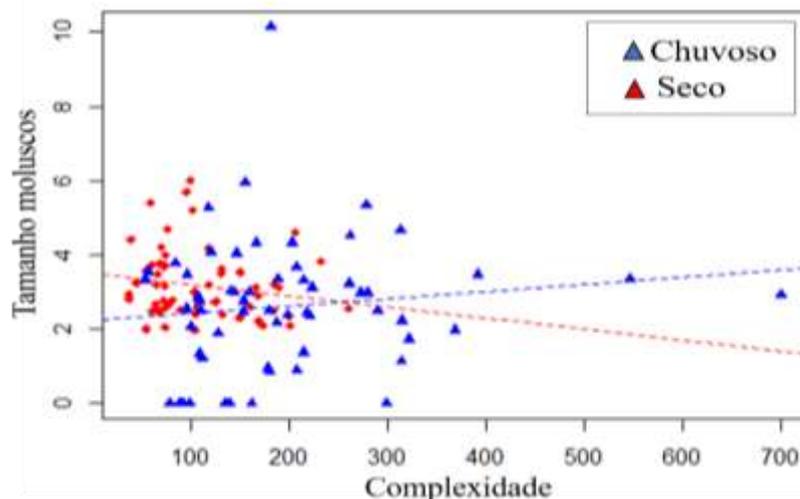
**Figura 13.** Algumas espécies de moluscos registradas nas algas estuarinas nos períodos seco e chuvoso a) *Caecum johnsoni*, b) *Turbonilla fasciata*, c) *Alaba incerta*, d) *Anomalocardia flexuosa*, e) *Bittiolium varium*, f) *Parvanachis obesa*, g) *Leptopecten bavay*, h) *Neritina virginea*, i) *Boonea jadidi*.

A comunidade de moluscos foi constituída de indivíduos de pequeno porte, variando de 0.50 a 10 mm, sendo o período com maiores valores médios, o seco. Portanto, o período chuvoso obteve maior predominância de indivíduos de tamanho menor (**Fig. 14**). No entanto, examinou-se essa diferença de tamanhos entre os períodos só foi significativa na macroalga *S. filiformes*.



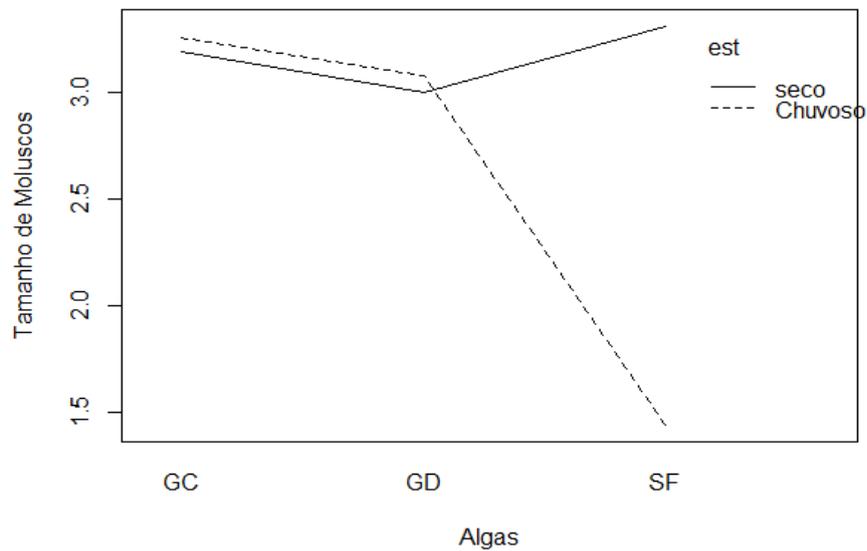
**Figura 14.** Tamanho médio ( $\pm$ DP) dos moluscos associados as macroalgas estuarinas nos períodos seco e chuvoso.

Contatou-se também, no caso do tamanho dos moluscos, que houve uma influência apenas da estação do ano e não da complexidade do habitat e nem dependência. Sendo este um pouco maior no período seco do que no chuvoso (**Fig.15**).



**Figura 15-** Relação entre a o tamanho dos moluscos com a complexidade nos períodos seco e Chuvoso.

Quando analisamos a dependência dos moluscos com a espécie de alga estudada, percebe-se que dependendo da alga analisada ocorre uma variação de tamanho entre os períodos sazonais. Na alga *G. cuneata* os moluscos apresentam um tamanho maior em ambos os períodos, em *G. domingensis* eles não apresentam variações de tamanho com relação aos períodos. No entanto em *S. filiformis* o tamanho dos organismos diminui muito no período chuvoso e aumenta no período seco. Isto pode indicar que, o tamanho dos moluscos varia dependendo da espécie macroalgal em relação a estação do ano (Pseudo- $F_{1,116} = 7,26$ ;  $p = 0,001$ ) (Fig.16).



**Figura 16-** Relação entre as espécies macroalgais e o tamanhos dos moluscos em ambos os períodos.

#### 4. DISCUSSÃO

As macroalgas utilizadas pelos macroinvertebrados como habitat, neste estudo, distinguiram-se quanto à sua complexidade estrutural, sugerindo que elas oferecem microhabitats distintos para a fauna associada.

Percebe-se que existe uma diferença na estrutura das macroalgas, constatada tanto em seus atributos morfológicos quanto na complexidade de habitat ofertada, com relação aos períodos sazonais de seca e chuva. Tal fato pode estar relacionado a maior dinâmica do ambiente estuarino, com relação, principalmente, a fatores como mudanças de salinidade, períodos de seca e cheia das marés e aporte de nutrientes, que podem ocasionar variações na densidade e na estruturação dos bancos de macroalgas.

Outro fator que pode estar atrelado as mudanças morfológicas das macroalgas nos períodos sazonais analisados, diz respeito ao fato das mesmas terem muitas vezes seus próprios ciclos de vida atrelados a esses períodos. Muitas delas têm ciclos curtos e de durabilidade baixa no ambiente, conforme verificado no estudo de CHRISTIE et al. (2009). Estes fizeram uma investigação mostrando os diferentes grupos de macroalgas e como eles estão distribuídas no ambiente ao longo de seus ciclos de vida. Nele fica evidente que as algas filamentosas, assim como, as deste estudo, estão presentes no ambiente por um curto espaço de tempo.

A complexidade do habitat foi maior no período chuvoso, o que pode indicar que fatores ambientes como maior aporte de nutrientes e água doce provenientes das chuvas podem influenciar na morfologia macroalgal. Possivelmente, a rápida diminuição de salinidade, ocasionada pelas chuvas, pode ser um fator determinante para o desenvolvimento de certas espécies macroalgais e de sua fauna associada.

Nas três espécies de macroalgas os grupos mais representativos em termos de abundância foram: Amphipoda, Isopoda, Polychaeta, Mollusca e Echinodermata. Isso corrobora com estudos que demonstram uma fauna associada à macroalgas compostas por tais grupos (e.g. EDGAR, 1983a, b; JACOBUCCI et al., 2002).

De um modo geral, eles foram mais abundantes no período seco, o que pode estar associado ao fato de as macroalgas serem, em grande parte, influenciadas por diversos fatores ambientais como temperatura e salinidade (e.g. RAIKAR et al., 2001). Sugere-se que a fauna associada a esses ambientes também sofra a influência da mudança desses fatores ambientais; já que nos períodos mais secos os ventos são mais acentuados e há maior evaporação da água, acarretando um aumento da salinidade e da temperatura no ambiente estuarino. Esses fatores

provavelmente influenciam a maior diversificação desses macroalgas, e, conseqüentemente, de sua biota associada.

Esses fatores devem ser levados em consideração, principalmente pelo fato de o ambiente estuarino em questão apresentar um regime hidrológico bem diferenciado, no qual pode-se observar uma baixa precipitação, mesmo no período de chuvas. A salinidade que já é alta, por se tratar de um ambiente hipersalino, eleva-se um pouco mais durante o longo período de seca, o que pode favorecer a prevalência de taxa mais tolerantes a salinidades mais elevadas.

Isto sugere que, os grupos mais abundantes, que foram Echinodermata e Amphipoda, respondem mais efetivamente a fatores sazonais, tendo uma maior prevalência em períodos de seca. Esse fato corrobora com outros estudos (e.g. MUKAI, 1971; VALÉRIO-BERARDO; FLYNN, 2002; LEITE; TURRA, 2003); nos quais os autores evidenciaram claramente a influência da sazonalidade sobre a composição desses grupos taxonômicos em diferentes espécies macroalgais.

Além disso, alguns taxa de macroinvertebrados, comprovadamente, apresentam seus ciclos de vida associados as próprias macroalgas. Devido a efemeridade das macroalgas, a estrutura da comunidade associada a elas pode apresentar também esse aspecto efêmero, como observado por Dean e Connell (1987). Estes autores supracitados enfatizam que o aumento na abundância e diversidade de animais associados responde à sucessão das algas em termos de aumento superficial das frondes e de biomassa.

Especificamente em relação a abundância de moluscos, observou-se um padrão diferente dos macroinvertebrados com maior abundância no período chuvoso, porém, uma maior riqueza e diversidade mais elevadas no período seco; sugerindo que esses sofreram influência da sazonalidade de maneira distinta.

Isto pode indicar também, que nos períodos mais favoráveis para o desenvolvimento e reprodução desses indivíduos, algumas espécies podem se sobressair diante de outras em termos de abundância, sendo consideradas espécies dominantes, o que gera um maior valor desse descritor.

Por outro lado, em um período menos favorável, a abundância de moluscos volta a se equilibrar, sem alta de dominância, o que acarreta a alta riqueza e diversidade de espécies no período seco. Confirmando o estudo de Noda et al. (2013), que demonstra a ocorrência de um fator ecológico chamado de substituição de espécies. Esse pode explicar a presença de alguns taxa em um dos períodos sazonais e a diminuição ou substituição deles em outro período.

De acordo com Edgar (1983), as variações temporais das populações no fital podem ser causadas pela sazonalidade não apenas do substrato algal, mas também pela sazonalidade nas

atividades reprodutivas e de recrutamento da própria comunidade. As espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os períodos foram três micro gastrópodes onívoros comuns no habitat macroalgal em manguezais hipersalinos (e.g. QUEIROZ ; DIAS, 2014).

A elevada abundância de algumas espécies de micro gastrópodes em ambos períodos pode estar associado à alta resistência delas a mudanças de fatores ambientais no ambiente estudado; ou a sua capacidade de diversificar os itens da sua dieta alimentar, lidando assim, com a escassez de alguns itens que possa ocorrer em determinados períodos sazonais, corroborando com Leite et al. (2009). Estes autores indicam que espécies típicas do fital geralmente têm hábitos alimentares diversos.

Com relação ao tamanho dos moluscos, o resultado seguiu um padrão semelhante ao da riqueza de espécies, sendo os maiores valores registrados para o período seco, corroborando com a ideia de que essas espécies podem ser dominantes durante este referido período. Em síntese, observa-se que para os dois anos estudados a sazonalidade demonstrou uma influência na composição da comunidade de macroinvertebrados, associados a diferentes espécies macroalgais.

Portanto, pode-se perceber a importância destas macroalgas como habitat para diversos táxons, dando suporte para estes indivíduos em diferentes períodos sazonais, em um ambiente sujeito a diversos estressores ambientais como o estuário.

## 5. REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. J.; GORLEY, R. N.; CLARKE, K. R. **PERMANOVA + for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods**. PRIMER-E. Plymouth, 2008.

ALONGI, D. Intertidal zonation and seasonality of meiobenthos in tropical mangrove estuaries. **Marine Biology**, v. 95, n. 3, p. 447-458, 1987.

ANTIT, M. et al. Temporal variation of the algae-associated molluscan assemblage of artificial substrata in Bay of Tunis (Tunisia). **Mediterranean Marine Science**, v. 14, n. 2, p. 390-402, 2013.

BULLERI, F. et al. Positive effects of the introduced green alga, *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*, on recruitment and survival of mussels. **Marine Biology**, v. 148, n. 6, p. 1213-1220, 2006.

CHEMELLO, R.; MILAZZO, M. Effect of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal molluscs. **Marine Biology**, v.140,p. 981–990. 2002.

CHRISTIE, H.; NORDERHAUG, K. M.; FREDRIKSEN, S. Macrophytes as habitat for fauna. **Marine Ecology Progress Series**, v. 396, p. 221-234, 2009.

DEAN, R.L.; CONNELL, J. H. Marine invertebrates in an algal succession. I. Variations in abundance and diversity with succession. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 109, n. 3, p. 195-215, 1987.

DIAS, T. L. P., ROSA, R. D. S.; Damasceno, L. C. P. Aspectos socioeconômicos, percepção ambiental e perspectivas das mulheres marisqueiras da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (Rio Grande do Norte, Brasil). **Gaia Scientia**, v.1, n.1, p. 25-35, 2007.

EDGAR, G. The ecology of south-east Tasmanian phytal animal communities. I. Spatial organization on a local scale. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 70, n. 2, p. 129-157, 1983.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. 2004. **Mapeamento geoambiental da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão**. Relatório Técnico, Natal, Brasil, 23p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2015. <http://www.inmet.gov.br/portal/>

GUERRA-GARCÍA, J. et al. Vertical distribution and seasonality of peracarid crustaceans associated with intertidal macroalgae. **Journal of Sea Research**, v. 65, n. 2, p. 256-264, 2011.

HARDWICK-WITMAN, M. N.; MATHIESON, A. C. Intertidal macroalgae and macroinvertebrates: Seasonal and spatial abundance patterns along an estuarine gradient. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 16, n. 2, p. 113-129, 1983.

JENSEN, K. R. Evolution of the Sacoglossa (Mollusca, Opisthobranchia) and the ecological associations with their food plants. **Evolutionary Ecology**, v. 11, n. 3, p. 301-335, 1997.

JACOBUCCI, G. B.; LEITE, F.P.P. Distribuição vertical e flutuação sazonal da macrofauna vágil associada a *Sargassum cymosum* C. Agardh, na praia do Lázaro, Ubatuba, São Paulo, Brasil. **Revista brasileira de Zoologia**, 2002.

LEITE, F. P.; TAMBOURGI, M. R.; CUNHA, C. M. Gastropods associated with the green seaweed *Caulerpa racemosa*, on two beaches of the Northern coast of the State of São Paulo, Brazil. **Strombus**, v. 16, n. 1/2, p. 1, 2009.

LEITE, F. P. P.; TURRA, A. Temporal variation in *Sargassum* biomass, Hypnea epiphytism and associated fauna. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 4, p. 665-671, 2003.

LUCENA, L.A.F. **Estrutura e composição de macroalgas de manguezais hipersalinos do Rio Grande do Norte, Brasil**: diversidade e suas correlações com as variáveis ambientais.

Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba. 2012.

MUKAI, H. The phytal animals on the thalli of *Sargassum serratifolium* in the Sargassum region, with reference to their seasonal fluctuations. **Marine Biology**, v. 8, n. 2, p. 170-182, 1971.

NETO, A. I. Observations on the biology and ecology of selected macroalgae from the littoral of Sao Miguel (Azores). **Botanica Marina**, v. 43, n. 5, p. 483-498, 2000.

NODA, T.; MINAMIURA, N.; MIYAMOTO, Y. Seasonal changes in an intertidal annual algal assemblage in northern Japan: The role of pre-emption and grazing on algal replacement. **Ecological Research**, v. 18, n. 6, p. 695-709, 2003.

MIKKELSON, P.; BIELER, R. Seashells of Southern Florida: Living marine mollusks of the Florida Keys and adjacent regions. **Bivalves. Princeton Univ. Press., New Jersey**, 2008.

PEDERSEN, M.; SNOEIJIS, P. Patterns of macroalgal diversity, community composition and long-term changes along the Swedish west coast. **Hydrobiologia**, v. 459, n. 1-3, p. 83-102, 2001.

QUEIROZ, R.N.M.; DIAS, T. L. P. Molluscs associated with the macroalgae of the genus *Gracilaria* (Rhodophyta): importance of algal fronds as microhabitat in a hypersaline mangrove in Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, V. 74, P. S052–S063. 2014.

RAIKAR, S. V., IIMA, M.; FUJITA, Y. Effect of temperature, salinity and light intensity on the growth of *Gracilaria* spp.(Gracilariales, Rhodophyta) from Japan, Malaysia and India. 2001 Rios, E.C., 2009. **Compendium of Brazilian Seashells**. Editora da FURG, Rio Grande, 668pp.

RIOS, E. de C. **Compendium of Brazilian sea shells**. Editora Evangraf, 2009.

TUNNELL, J.W., J. ANDREWS, BARRERA, N. C.; MORETZSOHN, F. **Encyclopedia of Texas seashells: identification, ecology, distribution, and history**. Texas A&M University Press, Corpus Christi, 512pp. 2010.

VALÉRIO-BERARDO, M. T.; FLYNN, M. N. Composition and seasonality of an Amphipod community associated to the algae *Bryocladia trysigera*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 62, n. 4A, p. 735-742, 2002.

## CAPÍTULO III

### **Influência da morfologia macroalgal na estrutura funcional da comunidade de moluscos em um estuário hipersalino**

#### **RESUMO**

Os estudos baseados em índices de riqueza e diversidade funcionais buscam compreender os papéis ecológicos desenvolvidos pelas espécies, assim como, suas interações com o meio no qual estão inseridas. A partir deles, pretende-se compreender a dinâmica, estabilidade, produtividade, balanço de nutriente, assim como a contribuição das espécies no desempenho e manutenção desses processos. O presente estudo teve como objetivos: 1) compreender se macroalgas com diferentes estruturas irão apresentar valores de riqueza e diversidade funcionais da comunidade de moluscos associados mais elevados; e 2) verificar se os atributos morfológicos das algas influenciam de forma positiva a composição de traços funcionais da comunidade de moluscos. A área de estudo foi o estuário do Rio da Casqueira, localizado no município de Macau (Rio Grande do Norte/Brasil). Foram coletadas três espécies de macroalgas: *Gracilaria domingensis*, *Gracilaria cuneata* e *Solieria filiformis*, e a composição de traços funcionais da comunidade de moluscos associada a elas foi analisada, para tanto, as espécies foram caracterizadas em 7 traços distribuídos em 24 categorias. Constatou-se que os maiores valores de riqueza e diversidade funcionais foram observados na macroalga com maior complexidade de habitat (*G. domingensis*). Alguns traços funcionais foram mais influenciados pela morfologia das macroalgas, sendo eles: modo de vida, estratégia alimentar, tamanho e desenvolvimento larval. Ainda, foi encontrada uma correlação positiva entre a variável morfológica altura algal (AA) com o traço funcional modo de vida epifaunal de substrato consolidado. Assim como o peso macroalgal com o hábito alimentar filtrador. O número de ramos na base da alga influenciou de forma positiva a postura dos ovos do tipo bentônica. Para enfatizar mais ainda está relação, a postura com liberação na água se correlacionou de forma negativa com este mesmo parâmetro morfológico. Ficou evidente assim, a relação dos traços funcionais das espécies de moluscos com a estrutura das frondes macroalgais.

**Palavras-chave:** Diversidade funcional, traços dos moluscos, Complexidade do habitat.

## 1. INTRODUÇÃO

A maioria dos estudos que tem o objetivo de mensurar a biodiversidade de um determinado ambiente, está baseado em índices de riqueza, diversidade e abundância de espécies (CHEN et al., 2018). No entanto, para entender o funcionamento dos ecossistemas, se faz necessário, além de compreender esses índices, e assim, a composição e estrutura da sua biodiversidade, deve-se observar também, a extensão das diferenças funcionais entre as espécies que coexistem em determinada área geográfica (REISS et al., 2009).

Os tipos de métrica padrão, para mensurar a biodiversidade, baseados nos índices ecológicos supracitados, podem ser considerados insuficientes, dadas as ausências das particularidades e das particularidades das relações ecológicas, tendo em vista que: consideram todas as espécies igualmente, independentemente de sua funcionalidade ecológica dentro do ecossistema, não expressando assim, diferenças biológicas, de história de vida ou fisiológicas (BADY et al., 2005).

Neste sentido, a diversidade funcional, que envolve a abundância relativa de diferentes tipos de funcionalidade dos indivíduos dentro do ecossistema, parece lançar luz a questão, trazendo uma complementariedade a esses descritores ecológicos tradicionais (CHEN et al., 2018). Uma vez que se demonstram mais sensíveis as particularidades de cada espécie (WALKER, 1992). Os estudos baseados nesse índice de diversidade funcional buscam compreender os papéis ecológicos desenvolvidos pelas espécies, assim como, suas interações com o meio no qual estão inseridas (PETCHEY; GASTON, 2006).

Sendo assim, a partir da diversidade funcional pretende-se compreender a dinâmica, estabilidade, produtividade, balanço de nutrientes, e inúmeros fatores presentes nos ecossistemas, além da contribuição das espécies no desempenho e manutenção desses processos (TILMAN et al., 1997). Tais estudos também mostraram-se eficientes no que diz respeito a identificação de impactos antrópicos causados aos ambientes, e podem, portanto, auxiliar na compreensão do estado de conservação deles (DOLÉDEC; STATZNER; BOURNARD, 1999).

A riqueza e a diversidade funcionais são índices baseados no conjunto de características das espécies, que também podem ser denominados *traços funcionais* (TILMAN, 2001). Nos últimos anos, os estudos ecológicos estão enfocando, cada vez mais, na importância dessas características ecológicas ou traços funcionais para a compreensão de relações mais complexas entre os indivíduos e o seu meio (CADOTTE; CARSCADDEN; MIROTCHNICK, 2011).

Esses traços foram agrupados por Cadotte et al. (2011) em três subdivisões: Físicos, bioquímicos e comportamentais. Eles podem influenciar o ecossistema de três formas básicas:

1) controle, aquisição, uso e disponibilidade de recursos limitantes; 2) modificação da estrutura de aquisição de alimento de teias alimentares; 3) ocorrência e magnitude de distúrbios. Sendo assim, esses traços podem ser utilizados para agrupar espécies em variados grupos funcionais (CHAPIN et al., 1997), em diferentes ecossistemas, como é o caso dos estuários: que apresentam uma alta complexidade de relações ecológicas a serem estudadas (ALONGI, 2009).

Os ambientes estuarinos apresentam uma alta biocomplexidade, com a presença de diversos micro-habitats dentre os quais estão as macroalgas. Estas podem atuar como espécies fundadoras, servindo de habitat a outros organismos (CACABELOS et al., 2010; DAYTON, 1971). Os aglomerados, formados por essas algas, são os chamados de “*bancos de macroalgas*”. Estes tendem a aumentar a heterogeneidade do ambiente no qual estão inseridos, e, conseqüentemente, gerar maiores valores de riqueza e diversidade funcionais; por proporcionarem a coexistência de diferentes espécies que compartilham os mesmos traços ou que apresentam variações nessas características (MILESI; DOLÉDEC; MELO, 2016). Esses microhabitats tornam-se assim, importantes para a manutenção dos processos ecológicos nos ambientes estuarinos.

Os bancos de macroalgas ofertam diferentes escalas de complexidade de habitat para seus organismos associados (CACABELOS et al., 2010). Para Brown (2007), esta complexidade afeta diretamente a funcionalidade dos ecossistemas, tendo em vista que age diretamente em vários processos ecológicos, nos diversos níveis de organização, incluindo: dinâmica populacional, interações de espécies, padrões comportamentais, assim como estruturação de comunidades. Além disso, habitats estruturalmente mais complexos apresentam conseqüentemente uma variada gama de estruturas, geradoras de uma maior área superficial para alocação de diferentes organismos, disponibilizando assim, diferentes nichos para espécies coexistentes (MACARTHUR, 1965).

Grupos funcionais diferem em suas necessidades e preferências de habitat, e assim, sua presença e abundância podem ser fortemente influenciadas pelo habitat em diferentes extensões espaciais (CURLEY et al., 2002, CHITTARO. 2004). Fazendo-se necessários estudos que avaliem a relação entre o habitat ocupado por uma determinada comunidade e sua composição funcional. Nessa direção, as macroalgas, por suportarem uma gama de macroinvertebrados associados a elas, e, portanto, uma elevada relevância funcional no tipo de ecossistema estudo, são o foco desta investigação. Esses invertebrados desempenham importantes papéis ecológicos dentro do estuário, como: decomposição de matéria orgânica, construção de tubos, revolvimento de sedimentos, entre outros (GIBSON; BARNES; ATKISON, 2001). Dentre os grupos de invertebrados mais representativos nesse tipo de micro-habitat estão os moluscos,

como demonstrado em muitos estudos em ambientes costeiros (ALVES; ARAÚJO, 1999; CACABELOS et al., 2010; CHEMELLO; MILAZZO, 2002; DUARTE et al., 2015; DUARTE et al., 2014) e estuarinos (QUEIROZ; DIAS, 2014).

Diante das importantes variáveis e o papel dos microhabitats na estruturação da composição de traços funcionais dos indivíduos, assim como o fato de as macroalgas serem espécies fundadoras em ambientes com pouca disponibilidade de substratos consolidado (CACABELOS et al., 2010), o presente estudo configura-se como pioneiro em diversos aspectos, a saber: avalia esses aspectos em um ambiente atípico por ser um estuário hipersalino e inverso, com variações de salinidade bem diferentes das encontradas em outros estuários típicos. Como também, no contexto da escala ecológica, no qual se investiga um microhabitat e como as comunidades de moluscos associadas a ele se comportam de acordo com suas relações de funcionalidades ecológicas.

Por isso, fica evidente a importância deste trabalho, para compressão acerca da relevância dos habitats macroalgais na estruturação de estuários hipersalinos, além do papel ecológico dos moluscos nesses ambientes. Para tanto, o presente estudo tem os seguintes objetivos: 1) Compreender se macroalgas com diferentes estruturas de talo irão apresentar valores de riqueza e diversidade funcional da comunidade de moluscos associados mais elevados; 2) Verificar se os atributos morfológicos das algas com maior heterogeneidade macroalgal influenciam de forma positiva os atributos funcionais da comunidade de moluscos.

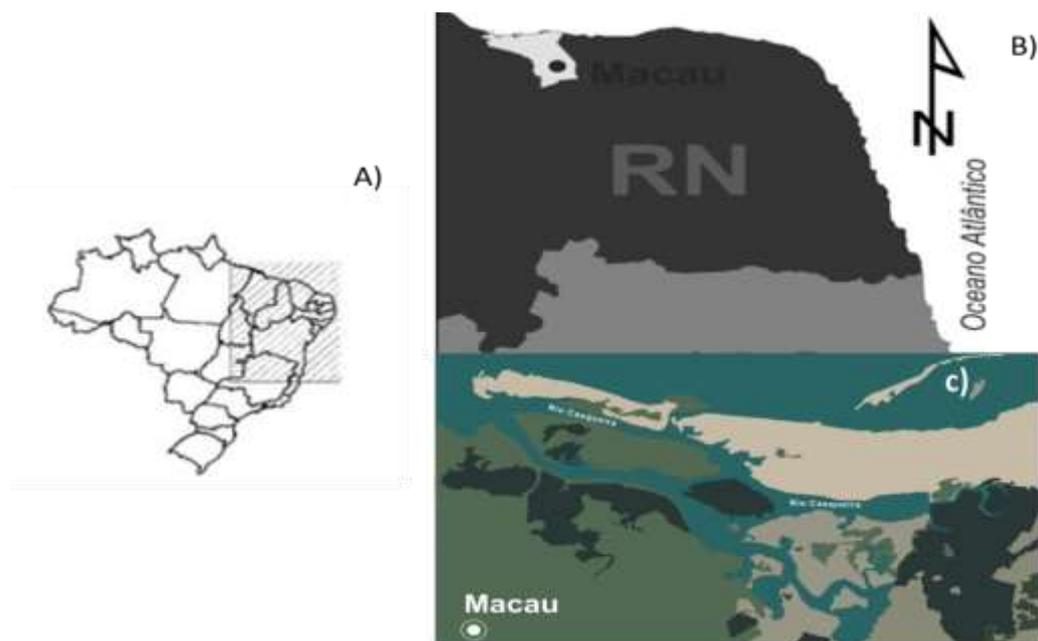
## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

O presente trabalho, foi desenvolvido no estuário do Rio da Casqueira ( $5^{\circ}05'37''S$   $36^{\circ}32'21''W$ ), localizado no município de Macau, litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (**Fig. 1**). Esse encontra-se margeado por manguezais e está sob influência de salinas em atividade de produção de sal e empreendimentos de carcinicultura desativados. A área está inserida em uma região caracterizada pelo clima semiárido, com altas taxas de evaporação e baixo índice pluviométrico (IDEMA, 2004). A precipitação média anual fica em torno dos 480 mm com curto período chuvoso (de fevereiro a maio) e um prolongado período seco (junho a janeiro), segundo dados do Instituto de Meteorologia - IMET.

O referido estuário constitui-se a partir de um braço de mar que adentrou ao continente, e desenvolveu características estuarinas, estando sujeito a ação das marés e a entrada de água doce proveniente do lençol freático subjacente. O mesmo caracteriza-se como negativo ou inverso, uma vez que, a salinidade aumenta rio acima. Nesse ambiente a salinidade varia entre 37 (próximo à desembocadura) e 50 (próximo ao final do sistema, à montante). A profundidade do local de amostragem variou de 0,5 a 2,5 metros, a salinidade média foi de 36,5 enquanto que a temperatura média foi de 27,5°C.

Segundo o trabalho de Lucena (2012) as macroalgas apresentam uma alta diversidade, estando distribuídas ao longo de toda a extensão do Rio, formando muitas das vezes, verdadeiros aglomerados, contendo diferentes espécies, compondo assim, extensos bancos submersos, em profundidades de até 3m. Muitos destes bancos chegam a ficar expostos no ambiente durante a maré baixa.



**Figura 1.** Localização da área de estudo no Nordeste brasileiro (A). Estado do Rio Grande do Norte (B) Rio da Casqueira, Macau (C).

## 2.2. Trabalho de campo e processamento das frondes macroalgais

As coletas de macroalgas ocorreram nos meses de outubro e fevereiro dos anos 2016 e 2017, durante o período diurno na baixa-mar por meio de mergulho livre (*snorkeling*). As frondes algais foram coletadas manualmente a partir de sua base de fixação ao substrato.

Posteriormente, as mesmas foram cuidadosamente removidas e acondicionadas em sacos plásticos individuais contendo água do ambiente. Buscou-se manter uma distância mínima de 10 metros entre as frondes coletadas, de modo a abranger uma maior área.

Ainda em campo, antes de serem fixadas, as frondes algais foram lavadas com água do ambiente, utilizando-se peneira de bentos com malha de 250 e 500  $\mu\text{m}$  para remoção do excesso de sedimento, sem que houvesse perda da macrofauna. Em seguida, as algas e a fauna associada foram fixadas e conservadas em formalina a 4%.

Posteriormente, o material foi transportado ao Laboratório de Biologia Marinha (LABmar), da UEPB, onde cada amostra algal foi lavada e colocada em bandeja plástica, contendo água doce.

Para remoção dos moluscos associados, foram utilizadas pinças. As amostras também foram visualizadas em microscópio estereoscópio para melhorar a busca por espécimes menores do que 1 mm. Em seguida, os espécimes encontrados foram conservados em álcool a 70%, para posterior identificação, após este processo, todos os indivíduos encontrados foram medidos com ajuda de um paquímetro digital.

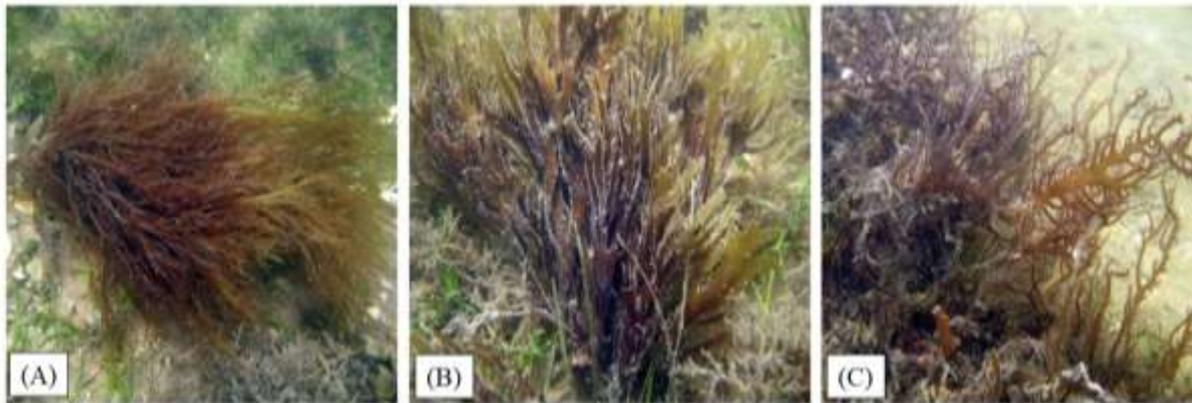
### 2.3. Caracterização das macroalgas e sua morfologia

Foram analisadas três espécies macroalgais do ecossistema investigado, sendo coletas 40 frondes (réplicas) de cada uma delas, totalizando 120 frondes macroalgais. As espécies analisadas foram: *Gracilaria domingensis*, *Gracilaria cuneata* e *Solieria filiformis* (**Fig.2**). As referidas espécies foram escolhidas por estarem sempre presentes e abundantes no respectivo ambiente, e por diferirem entre si, visualmente, com relação a estrutura morfológica. Com base neste aspecto, foram coletadas uma alga de estrutura mais complexa, uma intermediária e outra menos complexa.

A fim de caracterizar as macroalgas quanto a sua complexidade de habitat, foram mensurados diferentes atributos morfológicos de cada uma delas, tendo como base os trabalhos de Edgar (1983a) e Chemello e Milazzo (2002), descritos na **Tab.1** e **Fig.3**. Também foi obtido o peso úmido de todas as réplicas macroalgais, referente ao peso algal após a remoção do excesso de água (30 minutos em peneira e 20 minutos sobre papel toalha) presente nas frondes.

As macroalgas também foram analisadas quanto à Dimensão Fractal e para tal, todas as réplicas foram fotografadas com uma câmera Nikon D630 e as fotografias importadas para o programa Fractop v.3 (JELINEK et al., 2003). Este programa utiliza o método BoxCounting

para estimar a Dimensão Fractal (D), o qual, segundo Backes; Bruno (2005), em seu trabalho experimental com vários métodos de estimativa de dimensão fractal, foi o que obteve os melhores resultados, evidenciando a sua capacidade de aferir diferentes estruturas (fractais). Esse método consiste em sobrepor à imagem uma malha de quadrados, contar o número de quadrados e contabilizar a quantidade de quadrados necessários para cobrir toda a forma.



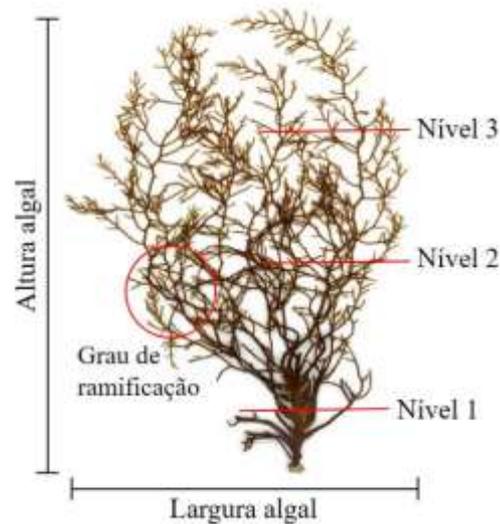
**Figura 2.** Espécies de macroalgas estudadas no ambiente estuarino: (A) *Solieria filiformis*, (B) *Gracilaria cuneata*, (C) *Gracilaria domingensis*. **Fotos:** Thelma Dias.

Para verificar a complexidade estrutural de cada macroalga, buscou-se uma fórmula que levasse em consideração o peso da réplica macroalgal e sua dimensão fractal, adaptada dos trabalhos de MCABENDROTH et al. (2005) e KOVALENKO, K.; DIBBLE; FUGI (2009).

$CH = D.P/$  CH é a complexidade de habitat, D a Dimensão Fractal de cada réplica e P, o Peso úmido.

**Tabela 1.** Atributos morfológicos analisados nas três espécies de algas estudadas no estuário do Rio da Casqueira, Nordeste, Brasil.

Código	Atributo	Descrição
AA	Altura algal	Medida da macroalga desde a base até o topo.
LA	Largura algal	Medida da alga de uma extremidade lateral a outra da fronde.
LT	Largura do talo	Medida que considera a espessura do eixo principal da alga em três níveis (inferior (LTNV1), intermediário (LTNV2) e superior (LTNV3), ao longo de sua altura).
NR	Número de ramos	Contabiliza o número de ramos emergentes, contados em três níveis (inferior (NRNV1), intermediário (NRNV2) e superior (NRNV3) a partir do eixo basal.



**Figura 3.** Desenho esquemático de uma alga ilustrando alguns dos atributos morfológicos utilizados para verificar a complexidade estrutural da alga. **Ilustração:** Tristan Le Goff © 2005.

#### 2.4. Composição de traços funcionais da comunidade de moluscos

Para analisar a composição de traços funcionais, as espécies foram caracterizadas em 7 traços que incluíram 24 categorias adaptadas dos trabalhos de Marina et al., 2012; Piló et al., 2016; Rueda et al., 2009 e Van Der Linden et al., 2017 (**Tab. 2**). Considerou-se os seguintes traços: tamanho do corpo, estratégia alimentar, modo de vida, tempo de vida, desenvolvimento larval, fecundidade e postura de ovos. Obteve-se as informações dos traços de cada espécie por meio de levantamento bibliográfico, utilizando-se os trabalhos de: Alves; Araújo (1999); Heller (1990); Arruda; Domaneschi; Amaral (2003); De Carvalho Rios (2009); Turgeon et al. (2009); Tunnell (2010); Macdonald et al. (2010); Além das bases de dados presentes nos sites Conquiliologistas do Brasil, MarLIN BIOTIC e Manual de Traços dos Gêneros da Macrofauna Marinha.

Em seguida, foram organizadas as informações em uma matriz de valores binários, onde foi atribuído valor “0”, quando a espécie não possuía o traço, e valor “1”, quando a espécie o apresentava. Assim, identificou-se os moluscos até o nível de espécie a partir da literatura específica: De Carvalho Rios (2009); Mikkelsen; Bieler (2008) e Tunnell (2010).

**Tabela 2.** Traços funcionais da comunidade de moluscos analisados nas três espécies de algas estudadas no estuário do Rio da Casqueira, Nordeste, Brasil.

Traços	Categorias	Legendas	Definição/Importância
Tamanho do corpo	Pequeno (<5 mm)	T_P	Tamanho máximo encontrado entre os organismos. Está relacionado com muitas funcionalidades do ecossistema como taxa metabólica, fluxo de energia e ciclagem de nutrientes. Podem ser indicadoras de distúrbios
	Grande (5-10 mm)	T_G	
Estratégia alimentar	Herbívoro	E_AH	Indica a estrutura trófica, assim como a ciclagem de energia e nutrientes nas comunidades além de qual tipo de recursos alimentares estão presentes no ambiente.
	Carnívoro	E_AC	
	Detritívoro	E_AD	
	Parasita	E_AP	
	Filtrador	E_AF	
Modo de vida (estratégia adaptativa)	Infauna	MV_Inf	Indica a disponibilidade de fontes de alimento, podem indicar processos de bioturbação e utilização de recursos e se os organismos estão utilizando as algas de forma permanente ou transitória.
	Epifauna de substrato inconsolidado	MV_Epi_SI	
	Epifauna de substrato consolidado	MV_Epi_SC	
	Perfurador	MV_Per	
	Ectoparasita	MV_Ec	
Tempo de vida	Curto (>1ano)	TV_C	Tempo máximo que cada organismo pode viver. Influencia a dinâmica da comunidade, pode ajudar a entender a resiliência do organismo.
	Longo (<3 anos)	TV_L	
Desenvolvimento larval	Direto	DL_D	Está relacionado ao potencial de dispersão do organismo em estágio larval
	Lecitotrófico	DL_L	
	Planctotrófico	DL_P	
Fecundidade	Baixa (1 – 2.500 ovos)	F_B	Taxa de ovos liberados. Pode indicar taxas de aumento ou diminuição da comunidade em uma escala temporal
	Alta (<100.00 ovos)	F_A	
Postura de ovos	Desova bentônica	P_DB	Tipos de desovas apresentados pelos organismos. Influencia o grau e alcance da dispersão larval. Larvas liberadas na água apresentam um grande poder de dispersão dentro dos ecossistemas
	Liberção na água	P_LA	

## 2.5. Análise dos dados

Para analisar o padrão de organização funcional das assembleias de moluscos em relação as espécies de macroalgas e suas características estruturais, foi realizada uma RLQ (DOLÉDEC et al., 1999). A análise consiste na utilização de três planilhas simultaneamente: R (variáveis estruturais das algas por unidade amostral); L (abundância de táxons por unidade amostral e Q (traços funcionais de cada espécie). A análise de RLQ amplia a análise de coinéncia (que trabalha com duas matrizes) para produzir uma ordenação entre três matrizes.

Primeiramente, é feita uma ordenação através de uma análise de correspondência (CA), utilizando a matriz L. Posteriormente, os resultados da CA são analisados em conjunto com outra ordenação uma PCA (Principal Component Analysis), utilizando a matriz R (variáveis estruturais das algas por unidade amostral), e, posteriormente, a terceira ordenação une a CA com a matriz Q de atributos funcionais através de uma FCA (Fuzzy Correspondence Analysis).

Por fim, o resultado é uma combinação linear que maximize a variância entre Q e R, ponderada pela ordenação utilizando a matriz L (DOLÉDEC et al., 1999). Para testar a significância da análise foi realizado um teste de aleatorização (randtest).

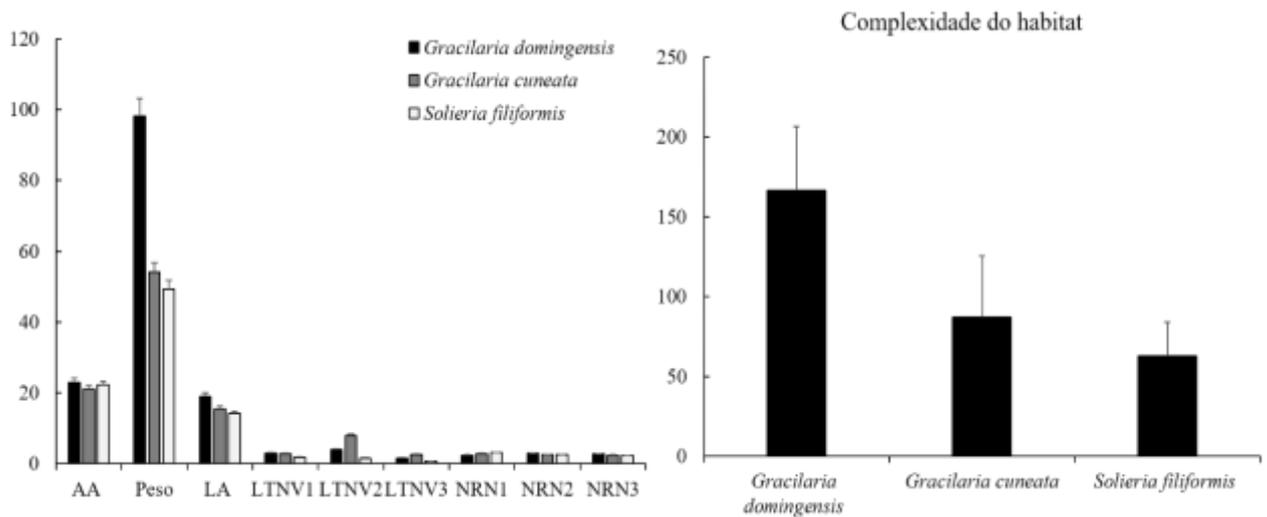
A diversidade e a riqueza de atributos funcionais foram calculadas através do de RAO, um índice de dispersão que incorpora tanto a abundância relativa de espécies como uma medida de as diferenças funcionais entre as espécies (BOTTA-DUKÁT, 2005), utilizando o pacote “FD” (LALIBERTÉ et al., 2015). Para testar se existe diferença entre as três espécies de algas e a riqueza e a diversidade funcional, foi realizada uma análise de Variância (ANOVA) com teste de Tukey a *posteriori*, a fim de verificar entre quais algas a diferença ocorreu.

Para realizar uma correlação entre os atributos morfológicos das macroalgas e os traços funcionais encontrados, foi realizado uma análise de Fouthercorner. Esta é feita depois da RLQ. Essa estatística mede a ligação entre três tabelas: L contendo as abundâncias espécies, uma segunda tabela R com as medidas da macroalga analisada e uma terceira tabela Q descrevendo os traços das espécies. A ligação entre duas variáveis é medida por um coeficiente de correlação de Pearson para duas variáveis quantitativas, oferecendo uma estatística multivariada (igual à soma dos autovalores da análise RLQ). Utilizou-se para tanto o Programa R.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Estrutura morfológica das macroalgas

Constatou-se que as macroalgas estudadas no ambiente estuarino diferiram com relação a sua estrutura morfológica, quando testadas todos os atributos morfológicos, peso e dimensão fractal (Pseudo- $F_{2,59} = 13,896$ ;  $p = 0,001$ ). Com relação à complexidade do habitat, esta diferença também ocorreu ( $F_{2,59} = 45,80$ ,  $p < 0,001$ ). A macroalga com maior valor médio de complexidade de habitat foi *Gracilaria domingensis* (CH=166,48), enquanto a macroalga menos complexa foi *Solieria filiformis* (CH=62,75). Para os atributos morfológicos de altura e largura algal, *Gracilaria domingensis* que foi a algal com maior complexidade de habitat, obteve os valores mais elevados, seguida por *G. cuneata*. Por outro lado, com relação aos demais atributos morfológicos mensurados, os valores mínimos e máximos variaram entre as macroalgas, como demonstrado na **Fig. 4**.



**Figura 4-** Valores médios ( $\pm$ DP) dos atributos morfológicos analisados nas macroalgas estuarinas estudadas. Códigos dos atributos na tabela 1.

### 3.2. Composição dos traços funcionais da comunidade de moluscos entre as três espécies de macroalga estudadas

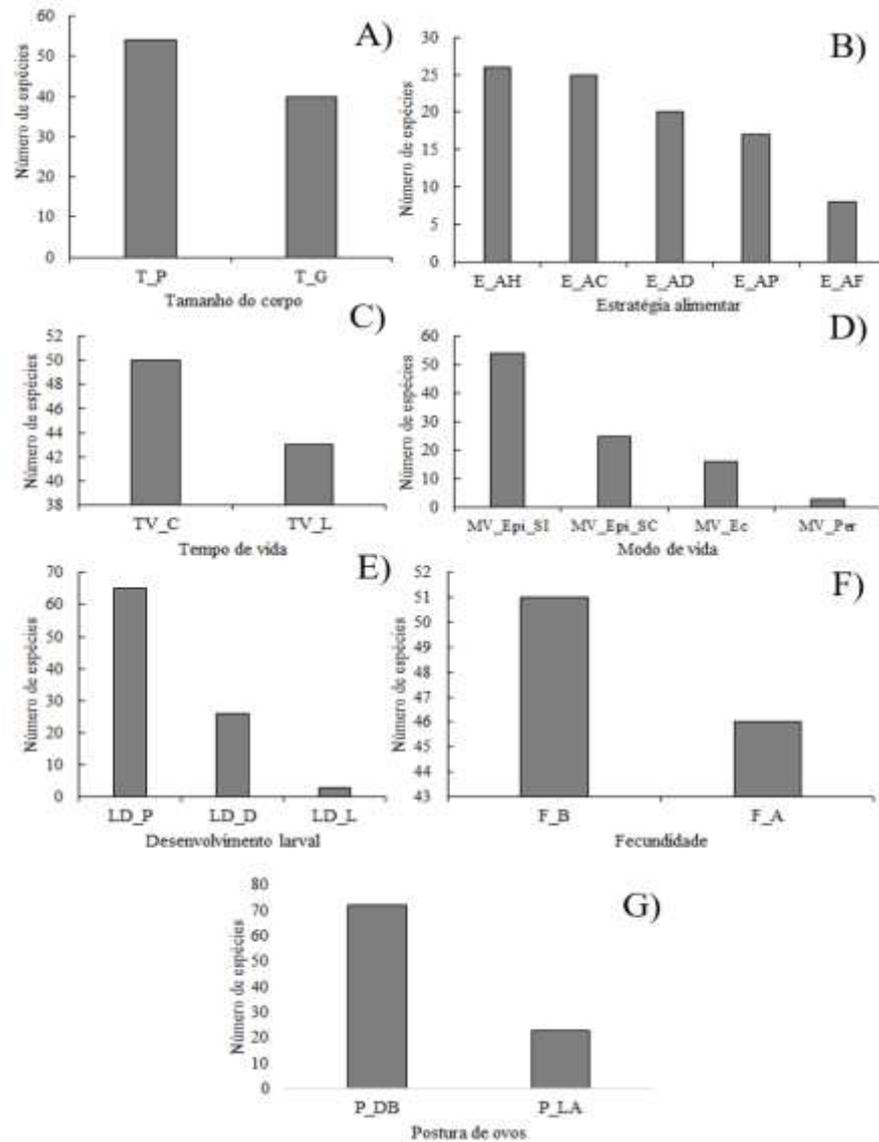
Com relação a composição de traços funcionais, as espécies de moluscos, associados as diferentes macroalgas estudadas, apresentaram uma composição de características bem peculiares do grupo. Quanto ao traço morfológico de tamanho do corpo, percebeu-se que a maioria apresentou valores entre 5 a 10mm.

Já com relação a função trófica desenvolvida, houve predominância dos hábitos alimentares filtrador e carnívoro. Verificou-se também, a provável utilização das macroalgas como substrato para a maioria das espécies, tendo em vista que, o modo de vida predominante dos indivíduos foi epifaunal de substrato inconsolidado.

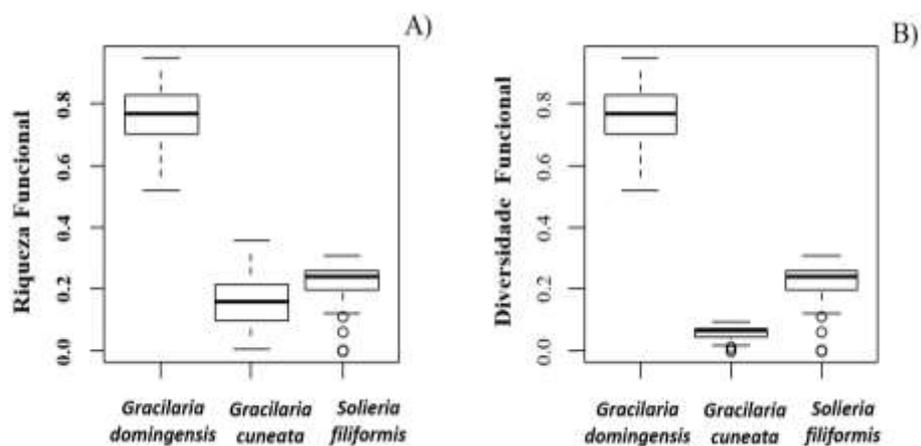
Outra constatação importante, que também demonstra o suporte ofertado pelo habitat macroalgal, é fato da maioria deles apresentarem um tempo de vida curto, o que pode estar relacionado, em grande parte, a efemeridade da própria alga.

Com relação aos aspectos reprodutivos analisadas, destacam-se: um desenvolvimento planctotrófico, com fecundidade considerada alta e uma desova predominantemente do tipo bentônica, fatores que podem indicar a utilização da própria macroalga como local de desova (**Fig. 5**). Fato observado diversas vezes na pesquisa campo.

As três espécies de macroalgas estudadas diferiram com relação a riqueza ( $F_{2,59} = 5.767$ ,  $p = 0,01$ ) e diversidade funcional ( $F_{2,59} = 0.81$ ,  $p = 0,3$ ). A *Gracilaria domingensis* apresentou os maiores valores de ambos os descritores (**Fig. 6A e B**). Este fato demonstra que, macroalgas estruturalmente mais complexas também são mais ricas e diversas quanto aos traços ou atributos funcionais da comunidade de moluscos. A macroalga *G. domingensis* também foi considerada a alga com maior complexidade estrutural, assim como *S. filiformis* obteve menor heterogeneidade estrutural e valores de descritores funcionais mais baixos.



**Figura 5-** Número de espécies de moluscos e seus respectivos traços funcionais analisados nas macroalgas: A) Tamanho do corpo; B) Estratégia alimentar; C) Tempo de vida; D) Modo de vida; E) desenvolvimento larval F) fecundidade, G) Postura de ovos.

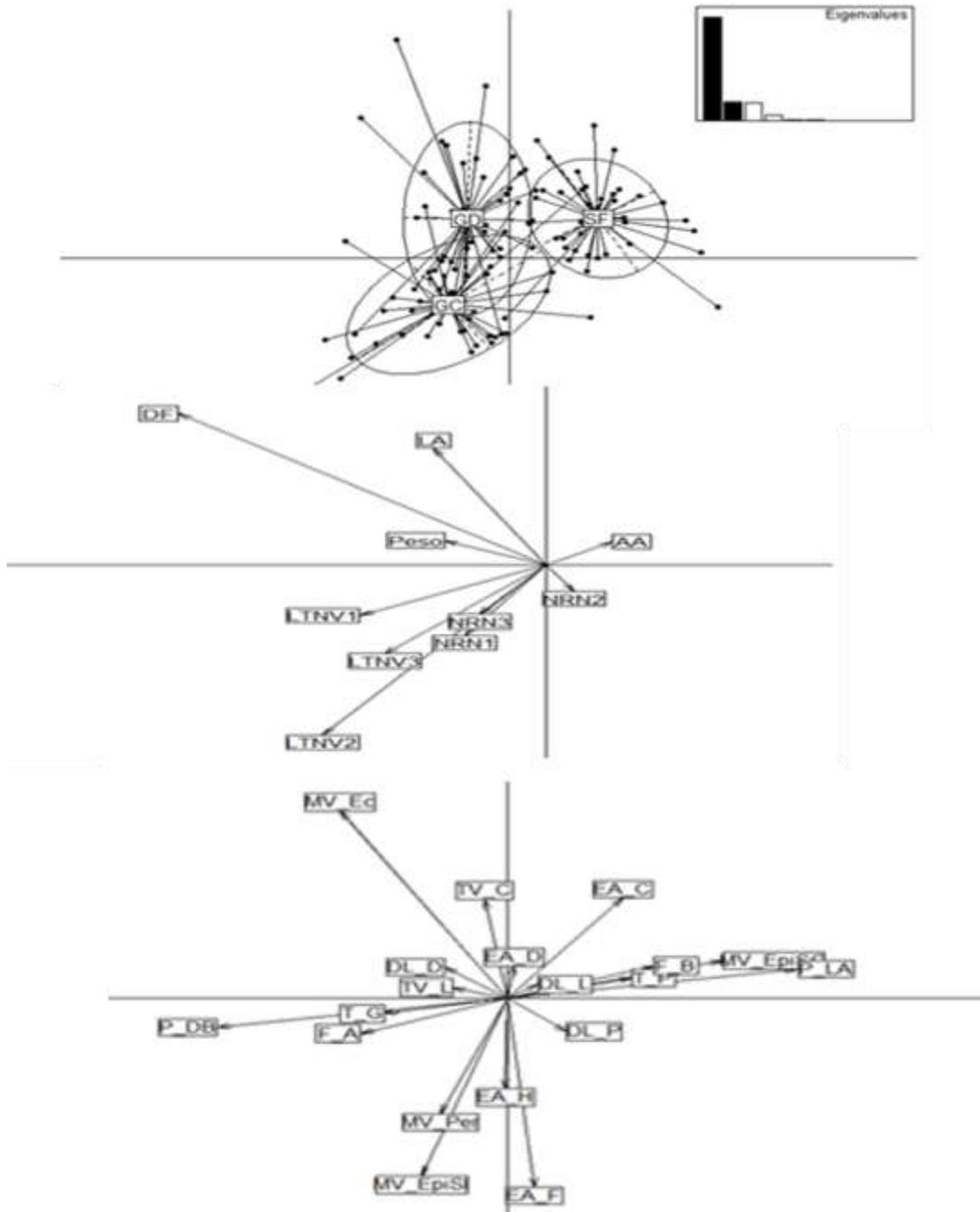


**Figura 6-** Valores de Riqueza Funcional (A) e Diversidade Funcional (B), nas três espécies de algas estudadas.

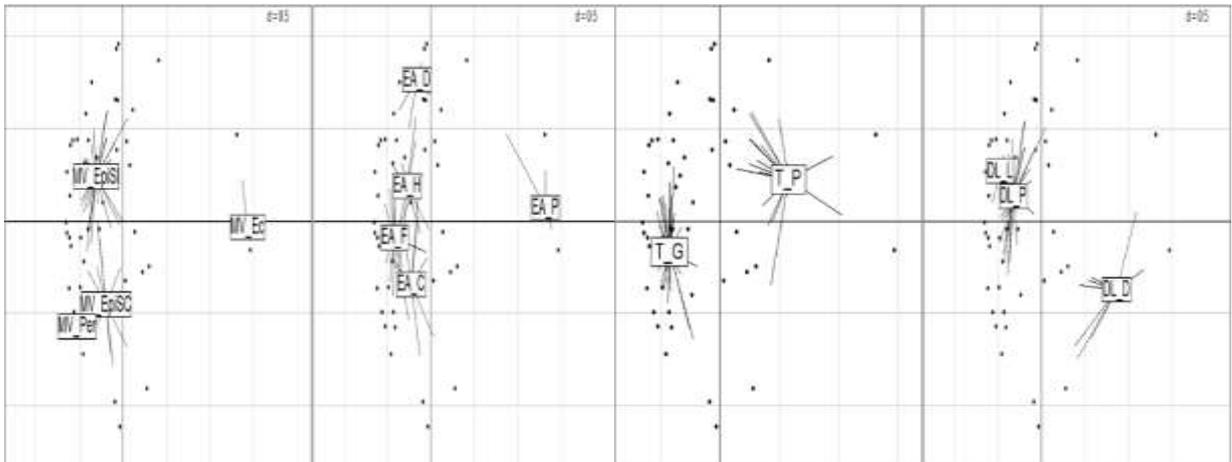
O teste de RLQ (randtest:  $p < 0,001$ ) obteve uma explicação de 81% do total da variação (**Fig. 7A**), mostrando, portanto, a formação de um padrão de organização funcional da comunidade de moluscos em relação as espécies de macroalgas e suas características estruturais.

Constatou-se assim, que as duas espécies de macroalgas pertencentes ao mesmo gênero, *G. domingensis* e *G. cuneata*, apresentam conseqüentemente complexidades estruturais bem próximas e estiveram agrupadas no mesmo quadrante; sendo estas, mais influenciadas pelas variáveis morfológicas dimensão fractal (DF), largura total da alga (LA) e largura dos talos nos três níveis (LTNV1,2 e 3) Quando analisadas separadamente, a distribuição dos traços funcionais, nas diferentes macroalgas investigadas, percebe-se que, a macroalga *G. domingensis* apresentou a maior expressividade de indivíduos com o traço de modo de vida ectoparasita e tempo de vida curto. Quanto a *G. cuneata* observou-se: um modo de vida epifaunal de substrato inconsolidado e perfurador, desova bentônica, fecundação alta e tamanho grande. Para *S. filiformes* estiveram presentes os traços: modo de vida em substrato inconsolidado, liberação de ovos na água, habito alimentar carnívoro e fecundidade baixa (**Fig.7**)

Constatou-se também, através da análise de FCA, que alguns traços funcionais foram mais influenciados pela morfologia das macroalgas do que outros. Dentre os mais influenciados estão duas características ecológicas: modo de vida e estratégia alimentar, seguido por duas morfológicas: tamanho e desenvolvimento larval (**Fig. 8**).

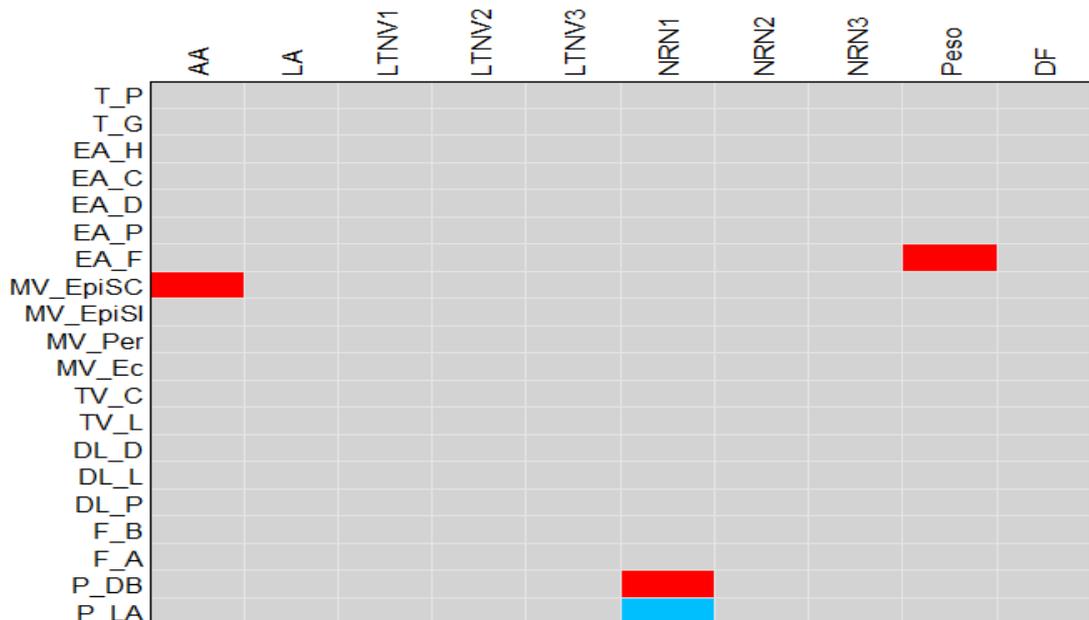


**Figura 7** - Composição de traços funcionais da comunidade de moluscos de acordo com a morfologia das macroalgas estudadas.



**Figura 8-** Representatividade dos traços funcionais mais influenciados pela morfologia das três espécies de macroalgas estudadas.

Ainda, foi encontrada uma correlação positiva entre a variável morfológica, altura algal (AA) com o traço funcional modo de vida Epifaunal de substrato consolidado. Assim como, do Peso com a estratégia alimentar, mais especificamente com o hábito filtrador. Já a variável número de ramos na base (NRn1) se relacionou de forma positiva com a postura dos ovos do tipo bentônica. Para enfatizar mais ainda esta correlação, a postura com liberação na água se correlacionou de forma negativa com este mesmo parâmetro morfológico (**Fig. 9**).



**Figura 9-** Correlação entre os traços funcionais da comunidade de moluscos e as variáveis morfológicas das espécies de macroalgas estudadas.

#### 4. DISCUSSÃO

O presente estudo demonstrou que: as macroalgas e suas formações de aglomerados, denominadas de “*Bancos de Macralgas*”, são bastante utilizadas como microhabitat por uma gama de macroinvertebrados; dentre eles, um dos grupos mais representativos são os moluscos, o que é observado, também, nos trabalhos de Amsler et al. (2015); Rosenfeld et al. (2015); Veiga et al. (2018) e Rubal et al. (2018).

Ficou evidente também que, as macroalgas com morfologias de talos distintas abrigam uma variada fauna associada, em termos de riqueza e diversidade taxonômicas, sendo a complexidade do habitat ofertado por elas um fator que influencia de forma positiva o aumento destes descritores. Fato corroborado por estudos sobre a temática e. g.: Chemello; Milazzo (2002) e Christie et al. (2009).

As pesquisas empíricas apontam também que existe uma variabilidade nas características funcionais, e, conseqüentemente, um aumento ou diminuição de índices de riqueza e diversidade funcionais em habitats com diferentes complexidades e escalas espaciais (DIMITRIADIS; EVAGELOPOULOS; KOUTSOUBAS, 2012; ILARRI et al., 2018).

Nessa direção, este trabalho apresenta-se como pioneiro ao avaliar a influência da complexidade do habitat na diversidade funcional de moluscos estuarinos. Demonstrando que: macroalgas com distintos arranjos de suas frondes (diferentes complexidades de habitats) também abrigam uma maior riqueza e diversidade funcionais, havendo, portanto, uma relação entre esses índices ecológicos e a morfologia macralgal.

Macroalgas filamentosas, como as da presente investigação, apresentam um curto ciclo de vida, com períodos de maior e menor abundância nos ambientes (CHRISTIE et al., 2009). Esta efemeridade macroalgal pode estar associada ao fato de macroalgas mais complexas terem abrigado uma maior quantidade de indivíduos com modo de vida epifaunal de substrato inconsolidado e desova do tipo bentônica. Indicando assim: que os mesmos podem utilizar as macroalgas como suporte durante todo o seu ciclo de vida, e, muitas vezes, até nos seus processos reprodutivos, como no caso das desovas. Uma vez que, diferentes tipos de posturas e desovas foram visualizadas em incursões a campo e em laboratório.

A predominância de indivíduos com tempo de vida curto, provavelmente, também, pode estar relacionada a efemeridade da própria macroalga, que de tempos em tempos, desprende-se do substrato lamoso, no qual está fixada, e é levada pela ação das marés. O que pode também influenciar na prevalência do traço fecundidade alta, desenvolvido como estratégia de

reprodução mais eficiente para que o indivíduo utilize o pouco tempo de estabilidade que o seu microhabitat disponibiliza.

A menor quantidade de traços presentes na macroalga *S. filiformis* pode indicar que menos indivíduos utilizam-na como suporte, tendo em vista que a maioria dos organismos presentes nela apresenta modo de vida epifaunal de substrato consolidado, o que pode indicar que a maioria dos indivíduos não a utiliza como habitat. Além disso, a baixa disponibilidade de espaços estruturais para possíveis desovas pode estar demonstrada na presença de moluscos com liberação de ovos na água, i. e., que não utilizam as frondes macroalgais com propósitos reprodutivos. Tal fato justificaria as baixas riquezas e diversidades funcionais e taxonômicas na referida macroalga.

Esta investigação aponta que, dentre os traços funcionais analisados, o mais influenciado pela morfologia macroalgal foi a estratégia alimentar. Esse elemento deve-se, principalmente, ao fato de os organismos utilizarem a macroalga quase que em sua totalidade em suas relações tróficas, desenvolvendo, assim, uma complexa teia trófica no habitat algal (TANO et al., 2016).

Dentre as relações tróficas, os moluscos herbívoros podem alimentar-se dos próprios talos da alga, ou de epífitas associadas a elas, fazendo, por vezes, o controle do crescimento destas sobre a macroalga: fazendo assim, o controle de tais organismos que podem ser prejudiciais ao desenvolvimento das algas (VAN DER ZEE et al., 2016).

No caso dos moluscos filtradores, os mesmos podem ser encontrados utilizando o sedimento presente na água circundante, que eventualmente prende-se aos talos (que atuam como verdadeiros filtros). Este acúmulo de sedimento nos talos macroalgais, consistem em espessas camadas mucosas de matéria orgânica (CHRISTIE et al., 2009). Este processo que ocorre no habitat algal pode explicar também a relação positiva encontrada entre o peso e este tipo de hábito alimentar, uma vez que macroalgas mais pesadas têm uma maior área superficial para captação do sedimento presente na água.

Para os que têm o hábito carnívoro, eles podem se alimentar dos vários táxons que cohabitam na macroalga, e. g.: Polichaetas, Amphipodas, Equinodermatas, e outros. Assim como, para os ectoparasitas que utilizam-se desses mesmos organismos e até de outras espécies de moluscos, para obtenção de fúidos alimentares.

Com relação ao tamanho corporal, têm-se indivíduos com tamanhos maiores nas algas consideradas mais complexas, devido, principalmente, a sua maior oferta de nichos e disponibilidade de substrato para alocação dos mesmos. Constatação encontrada também nos

estudo de Christie; Jørgensen; Norderhaug (2007); Christie et al. (2009) e Chemello; Milazzo (2002)

Tratando mais especificamente da utilização das macroalgas pelos moluscos, como sitio de desova, a literatura eg.: Dias; Mota, (2015) e observações de campo apontam que moluscos podem utilizar as macroalgas para este fim. Acredita-se que esse fenômeno tende a aumentar no ambiente investigado neste trabalho, já que este caracteriza-se por apresentar uma escassez de substratos consolidados, que podem servir a esse propósito reprodutivo. Sendo assim, as frondes de macroalgas representam, muitas das vezes, o único substrato disponível para desovas.

Este fato foi corroborado pela relação positiva entre o número de ramos na base das macroalgas e a desova do tipo bentônica, indicando que: algas com frondes mais complexas, e maior quantidade de ramos, dão suporte aos processos reprodutivos desses organismos. Enquanto que, aquelas como liberação na água se relacionam negativamente, um vez que o fator de complexidade independe para eles, que de qualquer forma liberarão seus ovos na água, não precisando, assim, de nenhum substrato.

A relação positiva, entre macroalgas mais altas e o traço funcional do modo de vida de substrato consolidado, pode estar associada, ao fato das algas maiores fornecerem suporte à implantação de pedaços de cascalho ou conchas de bivalves, que atuam fornecendo substrato consolidado para possível implantação desses organismos.

Assim, percebe-se a importância ecológica dos bancos de macroalgas e seu fital (grupos de organismos associados), dando suporte a esses organismos, atuando como recurso alimentar de forma direta ou indireta, além de serem sítios de desovas e alocação de juvenis, como refúgio contra predadores. Sendo assim, fica evidente que, a complexidade do habitat macroalgal presta suporte para a implantação de diferentes espécies de moluscos que prestam diversos serviços ecológicos ao ambiente. Portanto, as macroalgas estuarinas configuram-se como espécies fundadoras de fundamental relevância e que devem ser levadas em consideração nas ações de conservação para o ambiente estuarino.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALONGI, D. M. Paradigm shifts in mangrove biology. **Coastal Wetlands an Integrated Ecosystem Approach**. Elsevier. Amsterdam, Países Baixos, p. 615-640, 2009.
- ALVES, M. S.; ARAÚJO, M. J. G. Moluscos associados ao Fital *Halodule wrightii* Aschers na Ilha de Itamaracá–PE. **Tropical Oceanography-ISSN: 1679-3013**, v. 27, n. 1, 1999.
- AMSLER, M. O. et al. Abundance and diversity of gastropods associated with dominant subtidal macroalgae from the western Antarctic Peninsula. **Polar biology**, v. 38, n. 8, p. 1171-1181, 2015.
- BACKES, A. R.; BRUNO, O. M. Técnicas de estimativa da dimensão fractal: um estudo comparativo. **INFOCOMP Journal of Computer Science**, v. 4, n. 3, p. 50-58, 2005.
- BADY, P. et al. Use of invertebrate traits for the biomonitoring of European large rivers: the effects of sampling effort on genus richness and functional diversity. **Freshwater Biology**, v. 50, n. 1, p. 159-173, 2005.
- BROWN, B. L. Habitat heterogeneity and disturbance influence patterns of community temporal variability in a small temperate stream. **Hydrobiologia**, v. 586, n. 1, p. 93-106, 2007.
- CACABELOS, E. et al. Effects of habitat structure and tidal height on epifaunal assemblages associated with macroalgae. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 89, n. 1, p. 43-52, 2010.
- CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCHNICK, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. **Journal of applied ecology**, v. 48, n. 5, p. 1079-1087, 2011.
- CHAPIN, F. S. et al. Biotic control over the functioning of ecosystems. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 500-504, 1997.

- CHEMELLO, R.; MILAZZO, M. Effect of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal molluscs. **Marine Biology**, v. 140, n. 5, p. 981-990, 2002.
- CHEN, Q. et al. Changes in the functional feeding groups of macrobenthic fauna during mangrove forest succession in Zhanjiang, China. **Ecological research**, v. 33, n. 5, p. 959-970, 2018.
- CHITTARO, P. M. Fish-habitat associations across multiple spatial scales. **Coral Reefs**, v. 23, n. 2, p. 235-244, 2004.
- CHRISTIE, H.; JØRGENSEN, N. M.; NORDERHAUG, K. M. Bushy or smooth, high or low; importance of habitat architecture and vertical position for distribution of fauna on kelp. **Journal of Sea Research**, v. 58, n. 3, p. 198-208, 2007.
- CHRISTIE, H.; NORDERHAUG, K. M.; FREDRIKSEN, S. Macrophytes as habitat for fauna. **Marine Ecology Progress Series**, v. 396, p. 221-234, 2009.
- CURLEY, B. G.; KINGSFORD, M. J.; GILLANDERS, B. M. Spatial and habitat-related patterns of temperate reef fish assemblages: implications for the design of Marine Protected Areas. **Marine and Freshwater Research**, v. 53, n. 8, p. 1197-1210, 2002.
- DAYTON, P. K. Competition, disturbance, and community organization: the provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. **Ecological Monographs**, v. 41, n. 4, p. 351-389, 1971.
- DE CARVALHO RIOS, E. **Compendium of Brazilian sea shells**. Editora Evangraf, 2009. ISBN 8577271730.
- DIAS, T. L. P.; MOTA, E. L. S. First record of *Cassis tuberosa* spawning in the wild (north-east Brazil). **Marine Biodiversity Records**, v. 8, 2015.
- DIMITRIADIS, C.; EVAGELOPOULOS, A.; KOUTSOUBAS, D. Functional diversity and redundancy of soft bottom communities in brackish waters areas: local vs regional effects. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 426, p. 53-59, 2012.

DOLÉDEC, S.; STATZNER, B.; BOURNARD, M. Species traits for future biomonitoring across ecoregions: patterns along a human-impacted river. **Freshwater Biology**, v. 42, n. 4, p. 737-758, 1999.

DUARTE, R. C. et al. Gastropods associated to three reef macroalgae with different architectures. **Strombus**, v. 22, n. 1/2, p. 5, 2015.

DUARTE, R. C.; MOTA, E. L.; DIAS, T. L. Mollusk fauna from shallow-water back reef habitats of Paraíba coast, northeastern Brazil. **Strombus**, v. 21, n. 1/2, p. 15, 2014.

EDGAR, G. The ecology of south-east Tasmanian phytal animal communities. I. Spatial organization on a local scale. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 70, n. 2, p. 129-157, 1983.

GIBSON, R.; BARNES, M.; ATKISON, R. Functional group ecology in soft-sediment marine benthos: the role of bioturbation. **Oceanogr Mar Biol Annu Rev**, v. 39, p. 233-267, 2001.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. 2004. **Mapeamento geoambiental da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão**. Relatório Técnico, Natal, Brasil, 23p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2015. <http://www.inmet.gov.br/portal/>

ILARRI, M. I. et al. Physical legacy of freshwater bivalves: effects of habitat complexity on the taxonomical and functional diversity of invertebrates. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1398-1405, 2018.

JELINEK, H., D. Cornforth & L. Weymouth, 2003. Fractop v. 0.3. <http://seal.tst.adfa.edu.au/fractop>.

LUCENA, L. A. F. D. **Estrutura e composição de macroalgas de manguezais hipersalinos do Rio Grande do Norte, Brasil**: diversidade e suas correlações com as variáveis ambientais. 2012.

MACARTHUR, R. H. Patterns of species diversity. **Biological reviews**, v. 40, n. 4, p. 510-533, 1965.

MACDONALD, T. A. et al. **Taxonomic and feeding guild classification for the marine benthic macroinvertebrates of the Strait of Georgia, British Columbia**. Fisheries and Oceans Canada= Pêches et océans Canada, 2010.

MARINA, P. et al. Composition and structure of the molluscan assemblage associated with a *Cymodocea nodosa* bed in south-eastern Spain: seasonal and diel variation. **Helgoland Marine Research**, v. 66, n. 4, p. 585, 2012.

MIKKELSON, P.; BIELER, R. Seashells of Southern Florida: Living marine mollusks of the Florida Keys and adjacent regions. **Bivalves. Princeton Univ. Press., New Jersey**, 2008.

MILESI, S. V.; DOLÉDEC, S.; MELO, A. S. Substrate heterogeneity influences the trait composition of stream insect communities: an experimental in situ study. **Freshwater Science**, v. 35, n. 4, p. 1321-1329, 2016.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology letters**, v. 9, n. 6, p. 741-758, 2006.

PILÓ, D. et al. How functional traits of estuarine macrobenthic assemblages respond to metal contamination? **Ecological indicators**, v. 71, p. 645-659, 2016.

QUEIROZ, R.; DIAS, T. Molluscs associated with the macroalgae of the genus *Gracilaria* (Rhodophyta): importance of algal fronds as microhabitat in a hypersaline mangrove in Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 3, p. S052-S063, 2014.

REISS, H. et al. Spatial patterns of infauna, epifauna, and demersal fish communities in the North Sea. **ICES Journal of Marine Science**, v. 67, n. 2, p. 278-293, 2009.

ROSENFELD, S. et al. Richness, systematics, and distribution of molluscs associated with the macroalga *Gigartina skottsbergii* in the Strait of Magellan, Chile: A biogeographic affinity study. **ZooKeys**, n. 519, p. 49, 2015.

RUBAL, M. et al. Mollusc diversity associated with the non-indigenous macroalga *Asparagopsis armata* Harvey, 1855 along the Atlantic coast of the Iberian Peninsula. **Marine environmental research**, v. 136, p. 1-7, 2018.

RUEDA, J. L. et al. A highly diverse molluscan assemblage associated with eelgrass beds (*Zostera marina* L.) in the Alboran Sea: Micro-habitat preference, feeding guilds and biogeographical distribution. **Scientia Marina**, v. 73, n. 4, p. 679-700, 2009.

TANO, S. et al. Tropical seaweed beds are important habitats for mobile invertebrate epifauna. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 183, p. 1-12, 2016.

TILMAN, D. **Functional diversity.** Á In: Levin, SA (ed.), **Encyclopedia of biodiversity**: Academic Press, pp. 109-120, 2001.

TILMAN, D. et al. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. **Science**, v. 277, n. 5330, p. 1300-1302, 1997.

TUNNELL, J. W. **Encyclopedia of Texas seashells: identification, ecology, distribution, and history.** Texas A&M University Press, 2010. ISBN 1603443371.

TURGEON, D. D. et al. Bivalvia (Mollusca) of the Gulf of Mexico. **Gulf of Mexico origin, waters, and biota**, v. 1, p. 711-744, 2009.

VAN DER LINDEN, P. et al. Functional changes in polychaete and mollusc communities in two tropical estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 187, p. 62-73, 2017.

VAN DER ZEE, E. M. et al. How habitat-modifying organisms structure the food web of two coastal ecosystems. **Proc Biol Sci**, v. 283, n. 1826, p. 1-9, 2016.

VEIGA, P. et al. Mollusc assemblages associated with invasive and native Sargassum species. **Continental Shelf Research**, v. 161, p. 12-19, 2018.

WALKER, B. H. Biodiversity and ecological redundancy. **Conservation biology**, v. 6, n. 1, p. 18-23, 1992.

## APÊNCIDES

## Apêndice I

Lista taxonômica dos moluscos associados às três espécies de macroalgas nos Recifes da Praia do Seixas no período seco (N= 1.495).

Classes/Clados/Famílias	Espécies	<i>Sargassum polyceratum</i>	<i>Padina gymnospora</i>	<i>Bryothamniom triquetrum</i>
<b>Classe Polyplacophora</b>				
ISCHNOCHITONIDAE	<i>Ischnochiton</i> sp.	4		13
<b>Classe Gastropoda</b>				
Vetigastropoda				
FISSURELLIDAE			1	3
	<i>Fissurella rosea</i> (Gmelin, 1791)			
	<i>Diodora dysoni</i> (Reeve, 1850)	1	1	1
	<i>Diodora cayenensis</i> (Lamarck, 1822)			1
PHASIANELLIDAE		196	7	158
	<i>Eulithidium affine</i> (C. B. Adams, 1850)			
	<i>Eulithidium</i> sp.			1
	<i>Eulithidium bellum</i> (M. Smith, 1937)	12		14
Sorbeoconcha				
CERITHIIDAE		217	8	115
	<i>Bittolum varium</i> (Pfeiffer, 1840)			
	<i>Cerithium atratum</i> (Born, 1778)	2		6
	<i>Cerithium lutosum</i> Menke, 1828			1
LITIOPIDAE		3		
Littorinimorpha				
RISSOIDAE		1		
	<i>Schwartziella catesbyana</i> (d'Orbigny, 1842)			
	<i>Simulamerelina caribaea</i> (d'Orbigny, 1842)	1		
TORNIDAE		1		
	<i>Solariorbis</i> sp.			
TURBINELLIDAE				7
	<i>Turbinella laevigata</i> Anton, 1838			
TROCHOIDEA				
CAECIDAE		1		
	<i>Arene bairdii</i> (Dall, 1889)			
	<i>Caecum pulchellum</i> Stimpson, 1851	2		
	<i>Caecum floridanum</i> Stimpson, 1851	4		

	<i>Caecum ryssotitum</i> Folin, 1867	1	2	1
	<i>Caecum johnsoni</i> Winkley, 1908	4		6
	<i>Caecum brasilicum</i> de Folin, 1874			7
EULIMIDAE				1
	<i>Vitreolina</i> sp.			5
TRIPHORIDAE				
	<i>Marshallora nigrocincta</i> (C. B. Adams, 1839)			9
CERITHIOPSIDAE				
	<i>Cerithiopsis greenii</i> (C. B. Adams, 1839)			
	<i>Cerithiopsis fusiformis</i> (C. B. Adams, 1850)			134
	<i>Retilaskeya bicolor</i> (C. B. Adams, 1845)			10
Neogastropoda				
COLUMBELLIDAE		2		7
	<i>Parvanachis obesa</i> (C. B. Adams, 1845)			
	<i>Anachis lyrata</i> (Sowerby I, 1832)	2		13
	<i>Astyris lunata</i> (Say, 1826)	14	3	207
	<i>Astyris multilineata</i> (Dall, 1889)			65
	<i>Alys</i> sp.	1		
	<i>Mitrella dichroa</i> (Sowerby I, 1844)			1
	<i>Columbella mercatoria</i> (Linnaeus, 1758)	8	3	3
	<i>Costoanachis sertulariarum</i> (d'Orbigny, 1839)			1
CYSTISCIDAE		19		1
	<i>Gibberula lavalleana</i> (d'Orbigny, 1842)			
	<i>Granulina ovuliformis</i> (d'Orbigny, 1842)	12		
Heterobranchia				
PYRAMIDELLIDAE		2	1	1
	<i>Boonea jadisi</i> (Olsson & McGinty, 1958)			
	<i>Boonea seminuda</i> (C. B. Adams, 1839)	26		13
	<i>Oscilla somersi</i> (Verrill & Bush, 1900)	1		
	<i>Boonea seminuda</i> (C. B. Adams, 1839)			
	<i>Turbonilla pupoides</i> (d'Orbigny, 1841)			1
	<i>Fargoa dianthophila</i> (Wells & Wells, 1961)	4		1
Cephalaspidea				
HAMINOEIDAE		7		6
	<i>Haminoea antillarum</i> (d'Orbigny, 1841)			
APLYSIOIDEA		4	37	
	<i>Phyllaplysia engeli</i> Er. Marcus, 1955			
	<i>Aplysia dactylomela</i> Rang, 1828	1		1
PLACOBranchoidea				

	<i>Elysia</i> sp.	43	13	12
<b>Classe Bivalvia</b>				
Pteriomorphia				
MYIDAE				
	<i>Lithophaga bisulcata</i> (d'Orbigny, 1853)			1
	<i>Sphenia fragilis</i> (H. & A. Adams, 1854)			1
NUCULIDAE				
	<i>Nucula crenulata</i> A. Adams, 1856	1		

**Fonte:** Elaboração própria.

## Apêndice II

Lista taxonômica dos moluscos associados às três espécies de macroalgas no estuário do Rio da Casqueira (N= 2.000).

Classes/Clados/Famílias	Espécies	<i>Gracilaria domingensis</i>	<i>Gracilaria cuneata</i>	<i>Solieria filiformis</i>
<b>Classe Polyplacophora</b>				
ISCHNOCHITONIDAE	<i>Ischnochiton</i> sp.	3	6	4
<b>Classe Gastropoda</b>				
Vetigastropoda				
FISSURELLIDAE			1	3
	<i>Fissurella rosea</i> (Gmelin, 1791)	1		
	<i>Diodora cayenensis</i> (Lamarck, 1822)		1	
TURBINIDAE				
	<i>Astraliium latispina</i> (Philippi, 1844)	2		
PHASIANELLIDAE				
	<i>Eulithidium affine</i> (C. B. Adams, 1850)	11	6	3
	<i>Eulithidium bellum</i> (M. Smith, 1937)			5
NERITIDAE				
	<i>Neritina virginea</i> (Linnaeus, 1758)	4	2	12
Sorbeoconcha				
CERITHIIDAE				
	<i>Bittolum varium</i> (Pfeiffer, 1840)	30	18	13
	<i>Cerithium atratum</i> (Born, 1778)	1		2
LITIOPIDAE		3		
	<i>Alaba incerta</i> (d'Orbigny, 1841)	111	130	73
Littorinimorpha				
CALYPTRAEIDAE				
	<i>Bostrycapulus</i> sp.	1		
RISSOIDAE				
	<i>Schwartziella catesbyana</i> (d'Orbigny, 1842)		1	
	<i>Schwartziella chesnelii</i> (Michaud, 1830)	3		
	<i>Texadina</i> sp.		1	
TROCHOIDEA				
	<i>Arene bairdii</i> (Dall, 1889)	1		
CAECIDAE				
	<i>Caecum pulchellum</i> Stimpson, 1851			2
	<i>Caecum ryssotitum</i> Folin, 1867	10	2	1

EULIMIDAE	<i>Caecum johnsoni</i> Winkley, 1908	141	66	13
	<i>Eulima sarsi</i> Bush, 1909	2		1
	<i>Melanella polita</i> (Linnaeus, 1758)	1		
TRIPHORIDAE				
Neogastropoda	<i>Marshallora nigrocincta</i> (C. B. Adams, 1839)		1	
COLUMBELLIDAE				
	<i>Parvanachis obesa</i> (C. B. Adams, 1845)	36	30	12
	<i>Anachis lyrata</i> (Sowerby I, 1832)	2	3	2
	<i>Astyris lunata</i> (Say, 1826)	11	5	
	<i>Costoanachis sparsa</i> (Reeve, 1859)		1	
FASCIOLARIIDAE				
	<i>Aurantilaria aurantiaca</i> (Lamarck, 1816)		2	1
MELONGENIDAE				
	<i>Pugilina morio</i> (Linnaeus, 1758)	1		
MARGINELLIDAE				
	<i>Volvarina gracilis</i> (C. B. Adams, 1851)	16	6	27
	<i>Volvarina albolineata</i> (d'Orbigny, 1842)	15	3	
VOLUTIDAE				
	<i>Voluta ebraea</i> Linnaeus, 1758		1	
CONIDAE				
	<i>Conasprella iansa</i> (Petuch, 1979)		1	
MANGELIIDAE				
	<i>Tenaturris fulgens</i> (E. A. Smith, 1888)		1	
Heterobranchia				
PYRAMIDELLIDAE				
	<i>Boonea jadisi</i> (Olsson & McGinty, 1958)	13	8	4
	<i>Boonea seminuda</i> (C. B. Adams, 1839)	10	15	15
	<i>Fargoa bushiana</i> (Bartsch, 1909)	1		
	<i>Chrysallida gemmulosa</i> (C. B. Adams, 1850)	1		
	<i>Eulimastoma didymum</i> (Verrill & Bush, 1900)	2	2	
	<i>Turbonilla fasciata</i> (d'Orbigny, 1840)	245	89	13
	<i>Turbonilla pupoides</i> (d'Orbigny, 1841)	12	4	6
	<i>Turbonilla penistoni</i> Bush, 1899	3	1	1
Cephalaspidea				
BULLIDAE				
	<i>Bulla striata</i> Bruguière, 1792	11	16	6

HAMINOEIDAE				6
	<i>Haminoea antillarum</i> (d'Orbigny, 1841)	47	5	4
	<i>Atys riiseanus</i> Mörch, 1875		2	
APLYSIOIDEA				
	<i>Phyllaplysia engeli</i> Er. Marcus, 1955	27	56	
	<i>Aplysia</i> sp.	1	3	14
PLACOBranchoidea				
	<i>Elysia</i> sp.	1	4	
	<i>Berghia verrucicornis</i> (A. Costa, 1867)	1		
	<i>Phidiana lynceus</i> Bergh, 1867	9		2
	<i>Ascobulla ulla</i> (Er. Marcus & Ev. Marcus, 1970)		2	
	<i>Stylocheilus striatus</i> (Quoy & Gaimard, 1832)	1		
	<i>Stylocheilus</i> sp.			1
	<i>Dolabrifera dolabrifera</i> (Rang, 1828)	2		
	<i>Hydatina vesicaria</i> (Lightfoot, 1786)	2		
	<i>Okenia</i> sp.	1		
	<i>Oxynoea</i> sp.		5	
	<i>Doto</i> sp.		1	
<b>Classe Bivalvia</b>				
Pteriomorphia				1
MYIDAE				
	<i>Sphenia fragilis</i> (H. & A. Adams, 1854)	78	26	5
NUCULIDAE				
	<i>Nucula crenulata</i> A. Adams, 1856	50	62	
PECTINIDAE				
	<i>Leptopecten bavayi</i> (Dautzenberg, 1900)	9	4	2
VENERIDAE				
	<i>Anomalocardia flexuosa</i> (Linnaeus, 1767)	2	14	27
MYTILIDAE				
	<i>Musculus lateralis</i> (Say, 1822)	36	31	4
	<i>Botula fusca</i> (Gmelin, 1791)	1		
	<i>Amygdalum politum</i> (Verrill & S. Smith [in Verrill], 1880)	1		
ARCIDAE				
	<i>Anadara notabilis</i> (Röding, 1798)	9	12	9
	<i>Anadara brasiliiana</i> (Lamarck, 1819)	1		
TELIINIDAE				
	<i>Austromacoma constricta</i> (Bruguière, 1792)		1	

SEMELIDAE	<i>Psammotreta brevifrons</i> (Say, 1834)	2		
	<i>Semele bellastrata</i> (Conrad, 1837)		1	
CARDIIDAE	<i>Cumingia lamellosa</i> G. B. Sowerby I, 1833	2	1	3
LUCINIDAE	<i>Laevicardium pictum</i> (Ravenel, 1861)	1		
LYONSIIDAE	<i>Lucinoma filosa</i> (Stimpson, 1851)	1	3	
	<i>Lyonsia floridana</i> Conrad, 1849	20	18	4
CORBULIDAE	<i>Caryocorbula swiftiana</i> (C. B. Adams, 1852)	6	1	
	<i>Caryocorbula dietziana</i> (C. B. Adams, 1852)	3	3	
SOLECURTIDAE	<i>Tagelus divisus</i> (Spengler, 1794)		7	
LUCINIDAE	<i>Cavilinga blanda</i> (Dall in Dall & Simpson, 1901)	1		
	<i>Tivela mactroides</i> (Born, 1778)		2	
<hr/>				
<b>Classe Scaphopoda</b>	<i>Dentalium</i> sp.	1		

Fonte: Elaboração própria.

### Apêndice III

Lista taxonômica dos moluscos associados às três espécies de macroalgas no estuário do Rio da Casqueira nos períodos seco e chuvoso (N= 2.000).

Classes/Clados/Famílias	Espécies	Período Seco			Período Chuvoso		
		<i>Gracilaria domingensis</i>	<i>Gracilaria cuneata</i>	<i>Solieria filiformis</i>	<i>Gracilaria domingensis</i>	<i>Gracilaria cuneata</i>	<i>Solieria filiformis</i>
<b>Classe Polyplacophora</b>							
ISCHNOCHITONIDAE	<i>Ischnochiton</i> sp.	3	6	4	7	3	
<b>Classe Gastropoda</b>							
Vetigastropoda							
FISSURELLIDAE							
	<i>Fissurella rosea</i> (Gmelin, 1791)	1			1	1	
	<i>Diodora cayenensis</i> (Lamarck, 1822)		1		1	7	
SOLARIELLIDAE	<i>Solariella carvalhoi</i> Lopes & Cardoso, 1958				1		1
TURBINIDAE							
	<i>Astraliium latispina</i> (Philippi, 1844)	2				2	
PHASIANELLIDAE							
	<i>Eulithidium affine</i> (C. B. Adams, 1850)	11	6	3	8	4	
	<i>Eulithidium bellum</i> (M. Smith, 1937)			5			
NERITIDAE							
	<i>Neritina virginea</i> (Linnaeus, 1758)	4	2	12	2	4	4
Sorbeoconcha							
CERITHIIDAE							
	<i>Bittium varium</i> (Pfeiffer, 1840)	30	18	13	13	10	13
	<i>Cerithium atratum</i> (Born, 1778)	1		2	2		
LITIOPIDAE							
	<i>Alaba incerta</i> (d'Orbigny, 1841)	3					
		111	130	73	25	24	24
Littorinimorpha							
CALYPTRAEIDAE							
	<i>Bostrycapulus</i> sp.	1					
RISSOIDAE							
	<i>Schwartziella catesbyana</i> (d'Orbigny, 1842)		1			7	
	<i>Schwartziella chesnelii</i> (Michaud, 1830)	3					
	<i>Texadina</i> sp.		1				
TROCHOIDEA							

CAECIDAE	<i>Arene bairdii</i> (Dall, 1889)	1					
	<i>Caecum pulchellum</i> Stimpson, 1851			2			
	<i>Caecum ryssotitum</i> Folin, 1867	10	2	1	3		
	<i>Caecum johnsoni</i> Winkley, 1908	141	66	13	203	369	7
HIPPONICIDAE							
EULIMIDAE	<i>Hipponix</i> sp.						1
	<i>Eulima sarsi</i> Bush, 1909	2			1		
	<i>Melanella polita</i> (Linnaeus, 1758)	1					
	<i>Vitreolina arcuate</i> (C. B. Adams, 1850)					1	
TRIPHORIDAE							
	<i>Marshallora nigrocincta</i> (C. B. Adams, 1839)		1		1	1	1
CERITHIOPSIDAE							
	<i>Cerithiopsis</i> Forbes & Hanley, 1850				1		1
	<i>Cerithiopsis fusiformis</i> (C. B. Adams, 1850)					1	
Neogastropoda							
COLUMBELLIDAE							
	<i>Parvanachis obesa</i> (C. B. Adams, 1845)	36	30	12	21	19	4
	<i>Anachis lyrata</i> (Sowerby I, 1832)	2	3	2	3	2	
	<i>Astyris lunata</i> (Say, 1826)	11	5			1	
	<i>Costoanachis sparsa</i> (Reeve, 1859)		1		1		
FASCIOLARIIDAE							
	<i>Aurantilaria aurantiaca</i> (Lamarck, 1816)		2	1			
MELONGENIDAE							
	<i>Pugilina morio</i> (Linnaeus, 1758)	1			1		
MARGINELLIDAE							
	<i>Volvarina gracilis</i> (C. B. Adams, 1851)	16	6	27	12	17	3
	<i>Volvarina albolineata</i> (d'Orbigny, 1842)	15	3		14	2	
VOLUTIDAE							
	<i>Voluta ebraea</i> Linnaeus, 1758		1			1	
CONIDAE							
	<i>Conasprella iansa</i> (Petuch, 1979)		1		2		
MANGELIIDAE							
	<i>Tenaturris fulgens</i> (E. A. Smith, 1888)		1				
	<i>Brachycthara biconica</i> (C. B. Adams, 1850)					1	2
Heterobranchia							
PYRAMIDELLIDAE							

	<i>Boonea jadisi</i> (Olsson & McGinty, 1958)	13	8	4	6	9	3
	<i>Boonea seminuda</i> (C. B. Adams, 1839)	10	15	15	12	12	1
	<i>Fargoa bushiana</i> (Bartsch, 1909)	1					
	<i>Chrysallida gemmulosa</i> (C. B. Adams, 1850)	1					
	<i>Eulimastoma didymum</i> (Verrill & Bush, 1900)	2	2		4	6	1
	<i>Turbonilla fasciata</i> (d'Orbigny, 1840)	245	89	13	46	41	2
	<i>Turbonilla pupoides</i> (d'Orbigny, 1841)	12	4	6	3	3	
	<i>Turbonilla penistoni</i> Bush, 1899	3	1	1		1	
	<i>Turbonilla rhachialis</i> Pimenta & Absalão, 2004						3
	<i>Houbricka incisa</i> (Bush, 1899)				5		
	<i>Turbonilla krebsii</i> (Mörch, 1875)					1	
	<i>Parthenina flexuosa</i> (Monterosato, 1874)				7		
Cephalaspidea							
BULLIDAE							
	<i>Bulla striata</i> Bruguière, 1792	11	16	6	1	3	3
HAMINOEIDAE							
	<i>Haminoea antillarum</i> (d'Orbigny, 1841)	47	5	4			
	<i>Atys riiseanus</i> Mörch, 1875		2		58	31	1
APLYSIOIDEA							
	<i>Phyllaplysia engeli</i> Er. Marcus, 1955	27	56				
	<i>Aplysia</i> sp.	1	3	14			
PLACOBranchoidea							
	<i>Elysia</i> sp.	1	4				
	<i>Berghia verrucicornis</i> (A. Costa, 1867)	1			3	1	
	<i>Phyllaplysia engeli</i> Er. Marcus, 1955				10		1
	<i>Aplysia</i> sp.					2	1
	<i>Phidiana lynceus</i> Bergh, 1867	9		2	10	6	3
	<i>Ascobulla ulla</i> (Er. Marcus & Ev. Marcus, 1970)		2				
	<i>Stylocheilus striatus</i> (Quoy & Gaimard, 1832)	1					
	<i>Stylocheilus</i> sp.			1			
	<i>Dolabrifera dolabrifera</i> (Rang, 1828)	2					
	<i>Hydatina vesicaria</i> (Lightfoot, 1786)	2					
	<i>Okenia</i> sp.	1				1	
	<i>Oxynoea</i> sp.		5		3		
	<i>Doto</i> sp.		1		1		
<b>Classe Bivalvia</b>							
Pteriomorphia							
				1			
MYIDAE							

NUCULIDAE	<i>Sphenia fragilis</i> (H. & A. Adams, 1854)	78	26	5	111	128	
PECTINIDAE	<i>Nucula crenulata</i> A. Adams, 1856	50	62			1	
	<i>Leptopecten bavayi</i> (Dautzenberg, 1900)	9	4	2	33	21	
	<i>Argopecten gibbus</i> (Linnaeus, 1758)				1	1	1
PTERIDAE	<i>Pinctada imbricata</i> Röding, 1798				3	4	
VENERIDAE	<i>Anomalocardia flexuosa</i> (Linnaeus, 1767)	2	14	27	5	8	7
MYTILIDAE	<i>Musculus lateralis</i> (Say, 1822)	36	31	4	247	245	6
	<i>Botula fusca</i> (Gmelin, 1791)	1					
	<i>Amygdalum politum</i> (Verrill & S. Smith [in Verrill], 1880)	1				1	
ARCIDAE	<i>Anadara notabilis</i> (Röding, 1798)	9	12	9	27	14	
	<i>Anadara brasiliiana</i> (Lamarck, 1819)	1					
	<i>Barbatia candida</i> (Helbling, 1779)				1		
TELIINIDAE	<i>Austromacoma constricta</i> (Bruguière, 1792)		1				
	<i>Psammotreta brevifrons</i> (Say, 1834)	2			3	4	
SEMELIDAE	<i>Semele bellastrata</i> (Conrad, 1837)		1		3		
	<i>Semele purpurascens</i> (Gmelin, 1791)				1		
	<i>Semelina nuculoides</i> (Conrad in Hodge, 1841)				1		
	<i>Cumingia lamellosa</i> G. B. Sowerby I, 1833	2	1	3			
CARDIIDAE	<i>Laevicardium pictum</i> (Ravenel, 1861)	1					
LUCINIDAE	<i>Lucinoma filosa</i> (Stimpson, 1851)	1	3				
LYONSIIDAE	<i>Lyonsia floridana</i> Conrad, 1849	20	18	4	9	18	
CORBULIDAE	<i>Caryocorbula swiftiana</i> (C. B. Adams, 1852)	6	1				
	<i>Caryocorbula dietziana</i> (C. B. Adams, 1852)	3	3				
	<i>Caryocorbula contracta</i> (Say, 1822)					1	
SOLECURTIDAE	<i>Tagelus divisus</i> (Spengler, 1794)		7				

LUCINIDAE	<i>Cavilinga blanda</i> (Dall in Dall & Simpson, 1901)	1	
	<i>Tivela mactroides</i> (Born, 1778)		2
MACTRIDAE	<i>Mactrotoma fragilis</i> (Gmelin, 1791)		1
<hr/>			
<b>Classe Scaphopoda</b>	<i>Dentalium</i> sp.	1	
<hr/>			

**Fonte:** Elaboração própria.