

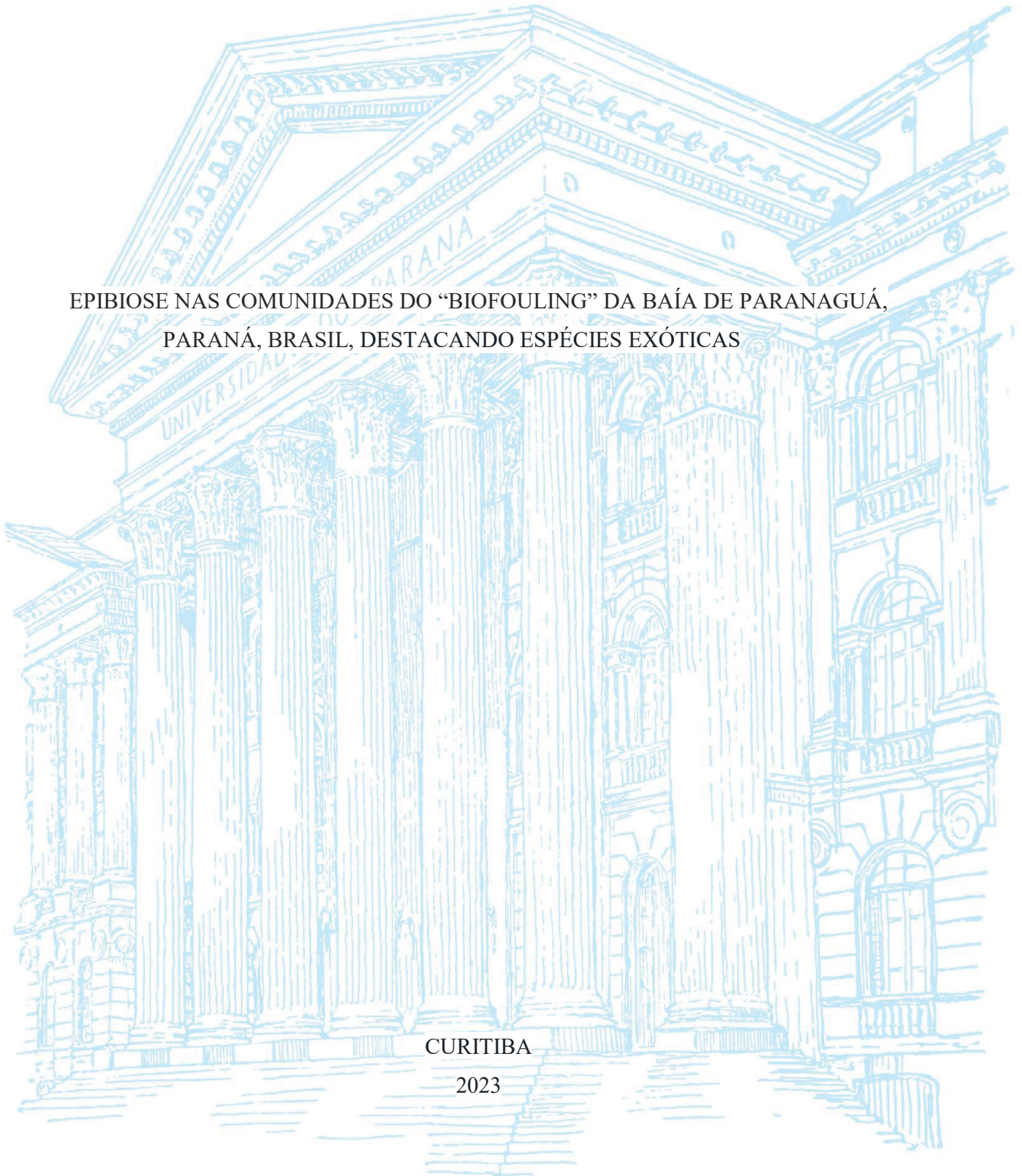
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARILIA DAMMSKI BORGES

EPIBIOSE NAS COMUNIDADES DO “BIOFOULING” DA BAÍA DE PARANAGUÁ,  
PARANÁ, BRASIL, DESTACANDO ESPÉCIES EXÓTICAS

CURITIBA

2023



MARILIA DAMMSKI BORGES

EPIBIOSE NAS COMUNIDADES DO “BIOFOULING” DA BAÍA DE  
PARANAGUÁ, DESTACANDO ESPÉCIES EXÓTICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Zoologia, Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas área de concentração Zoologia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Maria Angélica Haddad

CURITIBA  
2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Borges, Marília Dammski.

Epibiose nas comunidades do biofouling da Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil, destacando espécies exóticas. / Marília Dammski Borges. – Curitiba, 2023.  
1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Zoologia.  
Orientadora: Maria Angélica Haddad.

1. Espécies. 2. Comunidades bentônicas. 3. Paranaguá (PR). I. Haddad, Maria Angélica, 1951-. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Zoologia. III. Título



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOLOGIA -  
40001016008P4

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ZOOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **MARILIA DAMMSKI BORGES** intitulada: **EPIBIOSE NAS COMUNIDADES DO BIOFOULING DA BAÍA DE PARANAGUÁ, PARANÁ, BRASIL, DESTACANDO ESPÉCIES EXÓTICAS**, sob orientação da Profa. Dra. **MARIA ANGELICA HADDAD**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestra esta sujeita a homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Fevereiro de 2023.

Assinatura Eletrônica

03/03/2023 12:31:13.0

MARIA ANGELICA HADDAD

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletronica

02/03/2023 13:06:38.0

ROSANA MOREIRA DA ROCHA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA)

Assinatura Eletronica

02/03/2023 09:43:48.0

GUSTAVO MUNIZ DIAS

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC)

---

Avenida Cel Francisco H Santos, s/n - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 81531-980-Tel: (41) 3361-1641 - E-mail: pgzoo@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 260968

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 260968

Dedico esse trabalho à Marília do passado, que tanto almejou e lutou para chegar até aqui, e à Marília do futuro, que colherá os frutos de todo o aprendizado adquirido.

Também dedico à minha amada filha Iara, aos meus pais e irmã, que muito me ajudaram e apoiaram.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à minha família. À minha filha, por toda admiração e força, aos meus pais, pelo suporte e incentivo que me permitiram iniciar e concluir esse trabalho e à minha irmã, por toda a ajuda e apoio desde a minha decisão de iniciar essa pós-graduação.

Professora Maria Angélica, agradeço a oportunidade, o carinho, a confiança e paciência de me receber novamente em seu laboratório, após tantos anos longe da pesquisa.

Aos meus colegas Luana e Luiz, meu muito obrigada pelo bom humor, apesar de todas as dificuldades, pelas conversas e desabafos e tantas ajudas que me deram.

Agradeço à Dra. Elena Galvanese pela boa vontade e paciência no auxílio das análises estatísticas e ao Dr. Andrea Desiderato pelas análises de rede.

Aos Professores do programa pela dedicação.

Ao Programa de Pós-graduação em zoologia da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade e a CAPES pela bolsa que me permitiu ter retorno financeiro por esse estudo.

O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.

**ROSA, João Guimarães. Grande Sertão: Veredas, página 293**

## RESUMO

As comunidades bentônicas de substratos naturais consolidados, como costões rochosos e recifes de corais, passam a ser chamadas de “biofouling” (bioincrustação) quando ocupam substratos artificiais. Nas interações de epibiose dessas comunidades, denominam-se epibiontes os organismos que crescem sobre uma superfície viva, e basibiontes, aqueles que servem de substrato para o epibiontes. Após levantamento bibliográfico, constatou-se a inexistência de estudos que tratem especificamente de epibiose no “biofouling”, em diferentes estratos (camadas) de sobreposição dos organismos, tornando-se este o objetivo principal deste trabalho. A riqueza e abundância das espécies, por estação do ano e setor de salinidade também foram analisadas. A área de estudo foi o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), no litoral do Paraná, onde se identifica um gradiente de salinidade da entrada em direção ao interior, no sentido Leste-Oeste, denominados: setor euhalino (Pontal do Sul), polihalino (Paranaguá) e meso-oligohalino (Antonina). Nessa porção do CEP, localizam-se dois Portos, Paranaguá e Antonina, sendo o primeiro o maior da América do Sul em transporte de grãos, caracterizando a área como altamente suscetível à introdução de espécies exóticas. Assim, a continuidade do monitoramento de espécies exóticas no CEP foi outro objetivo deste estudo. Doze conjuntos experimentais foram instalados em marinas e boias, em cada um dos três setores de salinidade, no inverno de 2017 e no verão de 2017/2018, cada conjunto com uma placa de polietileno de 12x12 presa verticalmente a uma corda. As placas foram recolhidas após três meses de submersão e analisadas sob lupa, com uma grade de 100 pontos de intersecção. Em cada ponto, foram identificadas as morfoespécies em três estratos. Foram identificadas 50 morfoespécies, sendo nove (18%) exóticas. A análise de rede mostrou que a maioria das espécies foi generalista, ocorrendo como epibiontes ou basibiontes, com destaque para Balanidae (cracas) com maior número e abundância de espécies epibiontes. As comunidades diferiram significativamente, tanto entre os três setores de salinidade quanto entre inverno e verão. O setor euhalino (Pontal do Sul) teve a maior riqueza e abundância de espécies, como esperado. O segundo estrato teve a maior riqueza em ambas as estações do ano, e o terceiro estrato, a menor riqueza e abundância nos três setores e estações, também como previsto. Balanidae e o hidróide exótico *Podocoryna loyola* tiveram a abundância mais elevada considerando os três estratos de epibiose. O setor euhalino compartilhou mais espécies com o polihalino (Paranaguá) e diferiu significativamente do oligohalino quanto à diversidade de espécies. A maior riqueza e abundância de espécies exóticas ocorreu no verão, no primeiro estrato e no setor polihalino.

**Palavras-chave:** Bioincrustação; incrustante; basibiontes, epibiontes, espécie exótica

## ABSTRACT

Benthic communities on natural consolidated substrates, such as rocky shores and coral reefs, are called "biofouling" when they occupy artificial substrates. In the epibiont interactions of these communities, the organisms that grow on a living surface are called epibionts, and basibionts, those that serve as substrate for the epibionts. After a bibliographic survey, it was found that there are no studies dealing specifically with epibionts in biofouling, in different strata (layers) of overlapping organisms, making this the main objective of this work. Species richness and abundance, by season and salinity sector, were also analyzed. The study area was the Estuarine Complex of Paranaguá (CEP), on the Paraná coast, where a salinity gradient can be identified from the entrance towards the interior, in the east-west direction, denominated: euhaline (Pontal do Sul), polyhaline (Paranaguá) and meso-oligohaline (Antonina) sectors. In this portion of the CEP, two ports are located, Paranaguá and Antonina, the first being the largest in South America in grain transportation, characterizing the area as highly susceptible to the introduction of exotic species. Thus, the continuity of the monitoring of exotic species in the CEP was another objective of this study. Twelve experimental sets were installed in marinas and buoys in each of the three salinity sectors in winter 2017 and summer 2017/2018, each set with a 12x12 polyethylene plate attached vertically to a rope. The plates were collected after three months of submersion and analyzed under a magnifying glass, with a grid of 100 intersecting points. At each point, morphospecies were identified in three strata. Fifty morphospecies were identified, of which nine (18%) were exotic. Network analysis showed that most species were generalists, occurring as epibionts or basibionts, with Balanidae (barnacles) standing out with the highest number and abundance of epibionts. The communities differed significantly, both among the three salinity sectors and between winter and summer. The euhaline sector (Pontal do Sul) had the highest species richness and abundance, as expected. The second stratum had the highest richness in both seasons, and the third stratum, the lowest richness and abundance in all three sectors and seasons, also as expected. Balanidae and the exotic hydroid *Podocoryna loyola* had the highest abundance considering all three epibiotic strata. The euhaline sector shared more species with the polyhaline (Paranaguá) and differed significantly from the oligohaline with respect to species diversity. The highest richness and abundance of exotic species occurred in summer, in the first stratum and in the polyhaline sector.

Key words: Zoology; fouling; basibionts, epibionts, NIS

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. HIPOTHESES .....	15
3. ÁREA DE ESTUDO .....	15
3.1 Complexo estuarino de Paranaguá.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	16
4.1 Coleta do material biológico e dados ambientais.....	16
4.2 Delineamento amostral .....	17
4.3 Dados ambientais .....	18
4.4 Procedimentos laboratoriais .....	19
4.5 Revisão bibliográfica .....	19
4.6 Análise estatística.....	20
5. RESULTADOS .....	22
6. DISCUSSÃO .....	38
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
8. MATERIAL COMPLEMENTAR.....	50
8.1 Figuras.....	50
8.2 Tabelas .....	51

## 1. INTRODUÇÃO

As comunidades bentônicas de substratos naturais consolidados, como costões rochosos e recifes de corais, passam a ser chamadas de “biofouling” (bioincrustação) quando ocupam substratos artificiais. Horas após a submersão de uma superfície em ambiente marinho, bactérias, algas unicelulares e cianobactérias colonizam esse substrato formando um biofilme (CONNEL; GLASBY, 1999; CALLOW; CALLOW, 2002). Em seguida, tem início o assentamento de esporos e propágulos de algas e de larvas de invertebrados, como hidroides, ascídias, esponjas, briozoários, cirripédios, bivalves e poliquetas, entre outros. Esses organismos se desenvolvem rapidamente, em alguns dias ou semanas. Enquanto crescem, competem por espaço e se reproduzem, assim, qualquer superfície exposta, mais cedo ou mais tarde ficará incrustada (WAHL, 1989; FITRIDGE *et al.*, 2012; PÓVOA *et al.*, 2021).

Os organismos sésseis dessas comunidades podem se fixar diretamente ao substrato e sobre outros organismos. Denominam-se epibiontes os organismos que crescem presos a uma superfície viva e basibiontes, aqueles que servem de substrato para o epibionte. Numerosos organismos sésseis podem viver como basibiontes ou epibiontes, ou ambos simultaneamente (em uma epibiose de segundo ou terceiro grau) (WAHL, 1989). A epibiose envolve adaptações morfológicas e fisiológicas dos epibiontes e efeitos produzidos por eles sobre os basibiontes, como por exemplo a secreção de metabólitos secundários e maior desenvolvimento lateral dos indivíduos e/ou colônias (FERNANDEZ-LEBORAN, 2010). A incrustação do basibionte cria nova interface com o ambiente, que modifica as características essenciais da superfície por ele colonizada, podendo ocorrer aumento da sobrevivência do basibionte, quando epibiontes funcionam protegendo o basibionte contra predação ou redução da sobrevivência do basibionte, quando o epibionte prejudica seu crescimento ou reprodução (LAUDIEN; WAHL, 1999). A epibiose pode ser definida como uma associação facultativa entre dois organismos: o basibionte (ou hospedeiro) e o epibionte, e é um fenômeno amplamente distribuído no ambiente marinho (DVORETSKY; DVORETSKY, 2021).

Nas comunidades marinhas incrustantes, nas quais a competição por espaço é acirrada, a vantagem de colonizar um substrato ainda desocupado é a razão dominante para a ocorrência de epibiose (DA GAMA *et al.*, 2009). Compreender a dinâmica da epibiose é fundamental para entender as interações biológicas no funcionamento dos ecossistemas marinhos incrustantes (BELL *et al.*, 2015), porém, ela é pouco estudada. Três motivos principais são apontados para essa escassez de conhecimento sobre epibiose: 1. Tamanho corpóreo pequeno e hábitos crípticos das

espécies envolvidas; 2. Desafios associados a amostragem quantitativa e o fato das comunidades estarem em habitats estruturalmente diversos e 3. Dificuldades relacionadas a identificação dos organismos incrustantes em níveis específicos. Ainda é claramente necessário definir com maior precisão o que se entende por comunidade epifaunal, pois há mais de um termo usado para referir-se aos epibiontes na literatura, a exemplo de epizoico, epifítico, epifauna, entre outros, o que pode causar confusão se não houver uma preocupação em descrever corretamente a que se refere (CHEN *et al.*, 2021).

As propriedades da superfície externa do corpo do basibionte influenciam as interações do organismo com seu entorno biótico e abiótico. Rugosidade, cor, textura, entre outros, podem afetar o assentamento dos colonizadores (WAHL, 2009). A epibiose pode fornecer uma infinidade de benefícios potenciais para os epibiontes. Quando a epibiose modula as interações hospedeiro-predador, processo que pode envolver longo tempo, a sobrevivência do basibionte e dos epibiontes pode aumentar, ou pode reduzir a sobrevivência de um deles, ou de ambos (LAUDIEN; WAHL, 1999). A epibiose modifica algumas ou todas as propriedades e funções do basibionte, como osmorregulação, cor e forma, e esses efeitos podem ser benéficos, neutros ou prejudiciais, de alta ou baixa intensidade (WAHL, 2009). Entre as desvantagens para o basibionte, cita-se a diminuição do crescimento e da fertilidade, lesões corpóreas, diminuição da habilidade de competição, aumento da suscetibilidade a predação e aumento da demanda energética, entre outros prejuízos (BOZKURT; GENÇ, 2009). A fim de evitar os efeitos negativos de epibioses indesejadas, os basibiontes podem tolerar a presença de organismos incrustantes (desenvolvendo uma simbiose) ou evitá-los, alterando o habitat ou desenvolvendo defesas químicas tóxicas que inibem o assentamento de larvas dos epibiontes (KAMYAB *et al.*, 2020).

O estudo da epibiose pode contribuir para o conhecimento de aspectos importantes da biologia do basibionte, já que a sua estrutura, fisiologia e biologia podem refletir nos padrões de colonização das espécies epibiontes (FERNANDEZ-LEBORANS, 2010). Há espécies que facilitam o assentamento de outras espécies funcionando como basibiontes (THIELTGES; BUSCHBAUM, 2007). A estrutura corpórea dos basibiontes pode modificar totalmente a arquitetura do substrato, a exemplo das espécies com carapaças (cracas e bivalves, por exemplo), ampliando várias vezes a superfície disponível para fixação e a proteção contra predadores, entre outros benefícios (MCGOWAN; IYENGAR, 2017). Na facilitação, um organismo cria espaço vital ou melhora as condições físicas do ambiente para outro organismo (GUTIÉRREZ *et al.*, 2019),

possibilitando interações interespecíficas que beneficiam pelo menos um dos participantes e não causam danos a nenhum deles. Muitas espécies modificam o ambiente local e facilitam a colonização de espécies vizinhas, simplesmente por sua presença. Há forte efeito de facilitação sobre a aptidão individual, distribuições populacionais, taxas de crescimento, composição e diversidade de espécies. Há benefícios para as espécies viverem em altas densidades populacionais em ambientes marinhos e os benefícios podem superar os custos de aglomeração (BRUNO *et al.*, 2003). As cascatas de facilitação na comunidade, ocorrem quando várias espécies de fundação se envolvem em uma hierarquia de interações positivas, em que um facilitador primário afeta positivamente os facilitadores secundários, cada um apoiando um conjunto de espécies dependentes (YAKOVIS; ARTEMIEVA, 2017).

A intensidade da incrustação pode variar com a estação do ano (temperatura, chuvas...), latitude, salinidade, profundidade e variações locais (FITRIDGE *et al.*, 2012; WAHL, 1989). A estação do ano em que um substrato é submerso e o tempo que permanece submerso afetam a colonização desse substrato, por causa das flutuações sazonais na abundância de larvas e das interações biológicas entre as espécies que chegam primeiro e as que chegam depois (LIN; SHAO, 2002). Entre os fatores abióticos, a temperatura da água do mar, relacionado com a latitude e a estação do ano, é um fator relevante para as variações entre as interações de epibiose. As espécies incrustantes que colonizam o espaço livre diferem entre as estações e essa diferença é causada por periodicidades sazonais na reprodução dos adultos e fornecimento de larvas (MATSSON, 2021; BROWN; SWEARINGEN, 1998).

A área de estudo deste trabalho situa-se em uma região estuarina. Estuários possuem um gradiente de salinidade decrescente, da entrada para o interior, que se reflete em alterações na turbidez da água e na composição química, incluindo nutrientes, gases dissolvidos e traços de metais (ELLIOTT; MCLUSKY, 2002). Estuários são biologicamente mais produtivos do que os rios e o oceano adjacente, por apresentarem altas concentrações de nutrientes que estimulam a produção primária, devido à descarga de água doce na parte interna, a entrada de água do mar na parte mais externa, e aos transportes associados de sedimentos em suspensão e de nutrientes orgânicos e inorgânicos. Essa alta produtividade tem grande influência no desenvolvimento urbano, social e econômico das regiões estuarinas (DE MIRANDA, 2002).

Os organismos que compõem o “biofouling” são marinhos, mas várias espécies desenvolveram tolerância a salinidades intermediárias ou flutuações diárias de salinidade

associadas às variações da maré, adaptando-se à água salobra dos estuários (MUYLAERT, 2009). Também há uma alteração sazonal da salinidade dos estuários, implicando em diferenças na composição e abundância das espécies entre as estações do ano das (SCHROEDER *et al.*, 1990; COLLING *et al.*, 2007; DA COSTA *et al.*, 2008; ROSS *et al.*, 2015).

A urbanização crescente de regiões estuarinas adiciona mais e mais estruturas artificiais nestes ambientes, como madeira, concreto e fibra de vidro, utilizados em pilastras, estruturas flutuantes e boias, e principalmente na construção de portos, comumente associados a estuários. Concomitantemente, esses substratos artificiais aumentam a abundância e a diversidade do “biofouling” que se desenvolve sobre eles, e que podem impactar o ambiente estuarino (CONNEL; GLASBY, 1999; LINDEGARTH, 2001). A adição de estruturas artificiais pode alterar a dispersão de organismos sésseis, permitindo que espécies pouco dispersoras percorram distâncias maiores usando estruturas urbanas como trampolins. Essa situação resulta em expansão de espécies nativas e facilita a introdução de espécies exóticas que chegam aos portos internacionais (CONNELL, 2001). Ao longo da costa brasileira, a maioria dos portos foram construídos em áreas estuarinas, como os Portos de Paranaguá e de Antonina, situados no interior da baía de Paramaguá. Atividades portuárias de rotina provocam perturbações diversas ao ambiente, como o aumento da quantidade de material particulado na coluna d'água (aumento da turbidez) (ZALMON *et al.*, 2011) e outros que causam distúrbios na fauna e flora e sobre atividades econômicas (pesca, turismo, aquicultura, recreação etc.).

O crescente comércio marítimo internacional tem expandido a introdução de espécies exóticas, através das bioincrustações nos cascos, hélices, lemes, superfícies expostas de tubulações de água e túneis de propulsão, bem como através da água de lastro (PESTANA *et al.*, 2017), aumentando o risco de bioinvasão. Ao mesmo tempo, pode haver um incremento de processos de epibiose entre as espécies nativas e exóticas nas comunidades do “biofouling”, como resposta à competição por espaço, ou as espécies exóticas recém-chegadas podem impactar a comunidade, se impedirem a colonização das espécies nativas (SANTOS; LAMONICA, 2008; DVORETSKY; DVORETSKY, 2021). Portos são importantes locais de introdução de espécies, enquanto marinas e píeres frequentemente servem de habitat secundário para essas espécies introduzidas (NEVES *et al.*, 2007), facilitando o transporte regional por embarcações de pequeno porte (ex. de pesca e recreação) e introdução em áreas mais distantes dos portos. Como em muitos outros países com um longo litoral, o comércio marítimo é um componente crítico da economia brasileira e um

importante mecanismo de introdução de espécies marinhas (SKINNER *et al.*, 2016). O monitoramento da bioincrustação é essencial para a compreensão e mitigação dos impactos causados pelas espécies invasoras (AZEVEDO *et al.*, 2020). A identificação das espécies nativas e detecção da distribuição e abundância de espécies introduzidas constituem pré-requisitos para tentativas de controle da bioinvasão marinha (SOUZA *et al.*, 2009).

Além da expansão de programas de monitoramento para detectar espécies exóticas, os estudos de ecologia das invasões marinhas vêm se expandindo, à medida que ocorre um avanço no conhecimento da extensão e da história das invasões das espécies exóticas (RUIZ *et al.*, 2000). O desenvolvimento de comunidades incrustantes em placas (=painéis), submersos por períodos determinados, tem propiciado variadas pesquisas sobre ecologia das comunidades do “biofouling”, devido à facilidade da implantação do substrato, manipulação, coleta e análise dos dados, permitindo a aplicação de novas formas de controle e mitigação da bioinvasão, além de facilitar a detecção de espécies exóticas, e (PECH *et al.*, 2002). A incrustação sucessiva de organismos, conforme o tempo de submersão, vai constituindo camadas de sobreposição, denominadas estratos: estrato 1, composto pelas espécies pioneiras, que colonizam diretamente as placas; o estrato 2 é formado pelas espécies epibiontes sobre as espécies do estrato 1; as do estrato 3, se sobrepõem sobre as espécies do estrato 2.

Este trabalho apresenta um estudo inédito sobre epibiose, em três estratos de colonização do “biofouling” em placas de polietileno submersas por três meses, relacionados às variações de temperatura (inverno e verão) e às variações de salinidade ao longo do gradiente leste-oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá. Ao mesmo tempo, foram identificadas as espécies exóticas presentes, com a finalidade de continuar o monitoramento da bioinvasão de organismos incrustantes na região. Um levantamento de dados bibliográficos sobre epibiose no biofouling evidenciou a escassez de estudos e a forma pouco definida de tratamento desse tema na literatura encontrada.

## 2. HIPOTESES

a) Comunidades da região euhalina terão maior riqueza e abundância de epibiontes do que os outros setores, devido à maior semelhança de salinidade dessa região com a região costeira, onde vivem os organismos marinhos que adentram o estuário.

b) O segundo estrato terá maior riqueza e abundância tanto entre as estações quanto entre os setores de salinidade, devido à facilitação. O terceiro estrato terá menor riqueza e abundância que o primeiro e o segundo, devido a um menor tempo para os organismos se desenvolverem, já que é preciso que dois estratos se consolidem para, então, o terceiro estrato ser formado.

c) No verão haverá maior riqueza e abundância de espécies, tanto nos estratos quanto nos setores de salinidade, bem como de espécies exóticas, pois temperaturas mais elevadas da água favorecem a reprodução e o crescimento de maior número de espécies, e maior abundância de alimento (fito e zooplâncton).

d) A composição e diversidade de espécies das comunidades apresentará uma maior diferença entre o setor de maior salinidade (polihalino em Pontal do Sul) e o de menor salinidade (mesohalino em Antonina) devido a diferença de salinidade atuar como uma barreira fisiológica para espécies do ambiente euhalino adentrarem na baía

e) Algumas espécies apresentam maior frequência como epibiontes e algumas espécies de basibiontes favorecem a epibiose, apresentando maior frequência como basibiontes.

f) Haverá maior riqueza e abundância de espécies introduzidas no primeiro estrato devido ao pioneirismo das espécies exóticas e espécies nativas oferecem resistência, como basibiontes, a espécies invasoras) e na região polihalina, onde se localiza o porto de Paranaguá.

## 3. ÁREA DE ESTUDO

### 3.1 Complexo estuarino de Paranaguá

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), em termos de características físicas, tem sido classificado como parcialmente misto, com profundidade média de 5,4 m. A amplitude da salinidade e da temperatura da água no verão é de 12-29 e 23-30 (C°) e no inverno 20-34 e 18-25

(C°). A estrutura e funcionalidade do estuário são influenciadas por diferentes gradientes. De acordo com Lana *et al.* (2001), o complexo estuarino de Paranaguá possui um gradiente de salinidade que divide a baía em uma região externa, chamada euhalina (salinidade média de 30), uma região média polihalina e uma região interna meso e oligohalina (salinidade média 0-15). No presente trabalho foram adotados os seguintes termos e salinidades correspondentes: Região euhalina para salinidade igual ou maior que 30, região polihalina para salinidade entre 20 e 30, e região mesohalina para salinidade entre 5 e 20. Um gradiente lateral originado da água doce da entrada de rios e enchentes de maré, cria vários “micro-estuários” nos setores de salinidade da baía. A hidrodinâmica é regida pelas marés e pela desembocadura dos rios. Tratando-se de características químicas do CEP, elas estão relacionadas com os gradientes de energia e salinidade, como as concentrações de oxigênio dissolvido na água, de material em suspensão, assim como o estado trófico e de nutrientes (LANA *et al.*, 2001).

A área de amostragem deste trabalho é a parte sul do CEP, a maior no sentido leste-oeste (50 km), que compreende a Baía de Paranaguá e de Antonina onde se encontram dois portos, o de Paranaguá e o de Antonina. De acordo com a classificação de Campos Neto (2006), o porto de Paranaguá é de grande porte e sua área de influência (que tem relação com a importância relativa dos portos no comércio exterior de cada estado da federação) abrange dez estados da Federação. O porto de Antonina é de pequeno porte, cuja área de influência fica restrita ao estado do Paraná. Sendo assim, é uma região que tem uma grande movimentação de embarcações.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Coleta do material biológico e dados ambientais**

Em junho de 2017 (início do inverno) e em dezembro de 2017 (início do verão) placas polietileno negro de 12 x 12 cm foram presas em boias sinalizadoras, pilastras e flutuadores de marinas e outros ancoradouros, permanecendo submersos por três meses. Os mapas com os locais de submersão das placas estão no material complementar (Figuras 1, 2 e 3 do material complementar). As placas de polietileno foram presas verticalmente ao meio de uma corda de 1,5 m, com uma garrafa pet cheia de água e areia na extremidade servindo de lastro (Figura 1). As placas retiradas foram colocadas em sacos plásticos com água do local e transportadas ao

laboratório, onde a água foi substituída por álcool 96% para sua fixação e posterior análises. O álcool foi escolhido para fixação dos organismos para que fosse possível futuras análises genéticas, visto que o formol não é o fixador ideal quando se pretende fazer este tipo de análise.

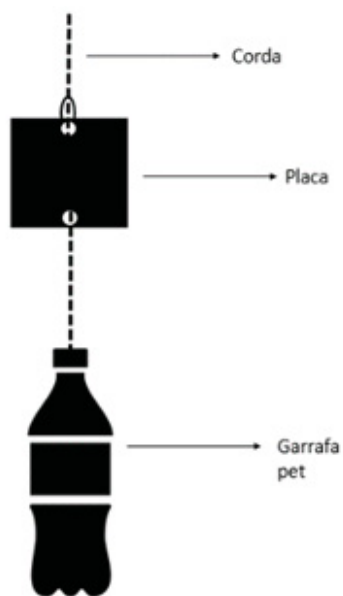


Figura 1: Representação da organização das placas nas cordas.

#### 4.2 Delineamento amostral

Doze conjuntos experimentais foram submersos em três locais de amostragem do CEP de diferentes salinidades: Pontal do Sul (euhalino), Paranaguá (polihalino) e Antonina (mesohalino) (Figura 2). Desta forma, tivemos 12 placas em cada local do gradiente de salinidade, sendo 36 placas no verão e 36 placas no inverno. Deste total de placas, algumas foram perdidas, restando para análise: No verão - 8 placas em Antonina, 9 placas em Paranaguá e 8 placas em Pontal do sul. No inverno - 9 placas em Antonina, 11 placas em Paranaguá e 8 placas em pontal do Sul, totalizando 53 placas analisadas.

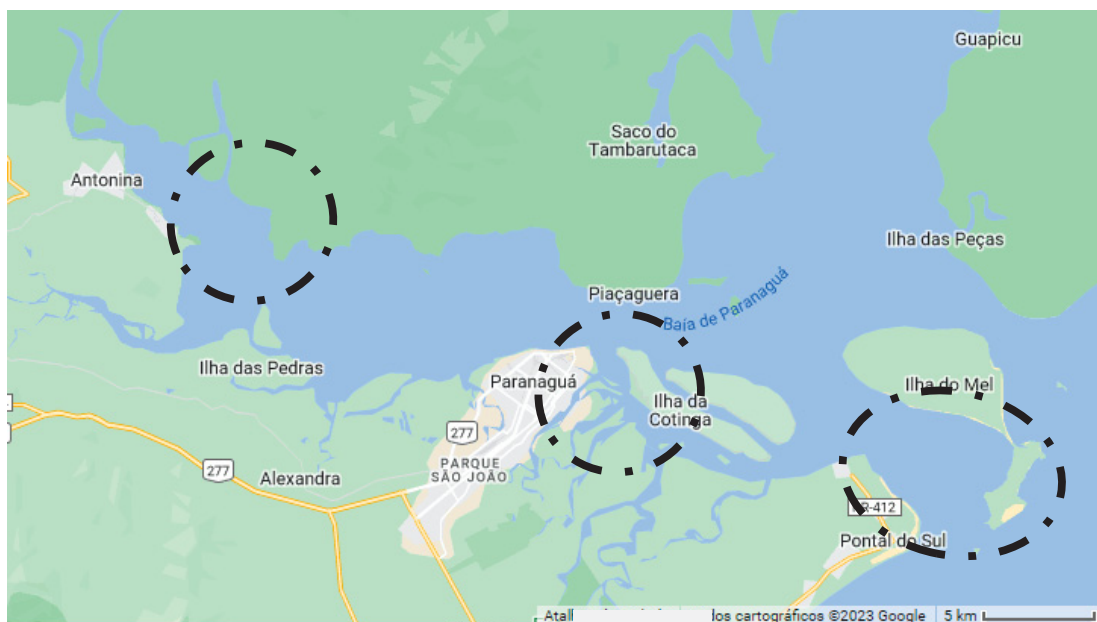


Figura 2: Área do Complexo Estuarino de Paranaguá. Em destaque, as regiões onde foram submersas as placas, que estão detalhadas nas figuras 1, 2 e 3 no material complementar. Fonte: [www.google.com.br/maps](http://www.google.com.br/maps).

### 4.3 Dados ambientais

O gradiente de salinidade da Baía de Paranaguá, razão pela qual foi escolhido este local para amostragem, pode ser observado através dos dados de salinidade, juntamente com dados da temperatura (Tabela 1). Os dados de temperatura da superfície do mar e salinidade da superfície do mar do dia de submersão e do dia da coleta das placas no verão e no inverno foram derivados do Banco de dados Bio-Oracle (<https://www.bio-oracle.org/>). Com o auxílio da ferramenta “raster” disponível no software R, foram rastreados os valores de salinidade e temperatura da superfície (Desiderato, 2020). Para cada setor de salinidade foi feita uma média aritmética com esses valores (Tabela 1).

Tabela 1: Dados abióticos. Os valores estão representados pela média dos valores de temperatura e salinidade nos locais de amostragem nas diferentes estações.

Local	Antonina (setor mesohalino)		Paranaguá (setor polihalino)		Pontal do Sul (setor euhalino)	
	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
Temperatura (°C)	28,90	22,20	29,10	22,27	28,47	21,71
Salinidade	15,0	17,0	23,5	27,4	30,2	31,1

Fonte: Dados obtidos e modificados de Desiderato (2020).

#### 4.4 Procedimentos laboratoriais

Para a análise das placas sob microscópio estereoscópico, cada placa foi retirada do álcool e colocada em caixa de plástico transparente com água cobrindo toda a placa. Sobre a placa foi colocada uma grade com 100 pontos de intersecção. As placas foram observadas do lado oposto ao que ficou preso a corda. Em cada um dos 100 pontos de intersecção, foram identificados e registrados os organismos incrustantes bem como em qual estrato se encontravam: estrato 1, aqueles fixados diretamente sobre a placa; estrato 2, aqueles fixados sobre os organismos do estrato 2, e estrato 3, aqueles sobre os organismos do estrato 2. No total foram analisados 5.300 pontos (100 pontos em cada uma das 53 placas). Uma consulta em bibliografia geral e especializada foi realizada para a identificação dos organismos encontrados até o menor nível taxonômico possível. O que foram chamadas aqui de morfoespécie refere-se aos organismos não identificados em nível específico, somente em nível de classe, ordem, família ou gênero. É importante ressaltar que foram considerados apenas organismos fixos e tubos de Amphipoda e Polychaeta, os vágeis não foram incluídos nos registros. As algas foram identificadas como morfotipos, observando-se características morfológicas, não realizando identificação taxonômica.

#### 4.5 Revisão bibliográfica

Em pesquisa nas base de dado Web of Science, foram utilizadas conjunto de termos: ALL=((epibio\* OR epifaun\* OR epizo\* OR epiphyt\*) AND (cnidar\* OR hydroi\* OR hydroz\* OR bryozo\* OR ectoproct\* OR mussel\* OR shellfis\* OR oyster\* OR polychaet\* OR barnacl\* OR

ascidi\* OR sea squirt\* OR amphipod\*) AND (ship\* OR boat\* OR wood OR pier\* OR concrete OR dock\* OR fiberglass OR hull OR iron OR plastic OR metal OR chain OR buoy\* OR polyethylene OR rope\*) NOT (jellyfish OR hidromedus\* OR coral\* OR bacteria\* OR diatom\* OR bacillariophy\* OR antifoul\*)). A escolha destas palavras-chave levou em consideração o tema central do trabalho que é a epibiose no “biofouling” ou seja, organismos incrustantes em estruturas artificiais.

#### 4.6 Análise estatística

As análises multivariadas foram realizadas utilizando-se os pacotes *vegan* (OKSANEN *et al.*, 2007) e *indicspecies* (DE CÁCERES; LEGENDRE, 2009) do software Rstudio, versão 4.1.1. Foi realizada PERMANOVA para saber se os locais diferem entre si na composição de espécies através da função *adonis* do software Rstudio.

A abundância das morfoespécies foi quantificada com a contagem dos pontos das placas onde cada uma estava presente, desta forma a abundância foi tratada como porcentagem de cobertura. Cada placa foi analisada em 100 pontos, assim o total de pontos representa 100% de cobertura. Foram gerados gráficos de riqueza e abundância para testar as hipóteses que relacionam essas variáveis entre os estratos com os setores de salinidade e com as estações do ano. A abundância foi medida através da porcentagem de cobertura e a riqueza através de números absolutos de contagem de morfoespécies.

Para indicar a variação das comunidades (betadiversidade) entre locais, períodos e estratos, foi utilizada a função “*betadisper*” (pacote “*vegan*”), a partir de uma matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis (função “*vegdist*”, pacote “*vegan*”). A *betadisper* é uma análise multivariada que calcula a dispersão de pontos ao redor do centroide da amostra, e dessa forma permite comparar quão variáveis são os grupos (i.e. tamanho da variação entre réplicas em cada grupo). Para comparar a homogeneidade das variâncias dos grupos (locais, períodos e estratos), foi utilizada a função “*permutest*” (pacote “*vegan*”) com 9999 permutações. Para comparar as composições de espécies em cada grupo, foi utilizada a função “*adonis2*” (PERMANOVA, pacote “*vegan*”) sobre a matriz de distância de Bray-Curtis, com 9999 permutações.

A fim de avaliar se alguma espécie estava mais fortemente associada a um estrato em particular (i.e. espécie indicadora), foi utilizada a função ‘*multipatt*’ (pacote ‘*indicspecies*’) com

9999 permutações. Em todas as análises, o valor de alfa considerado foi de  $P < 0.05$ , indicando que há uma pequena probabilidade de que a diferença observada entre os grupos seja ao acaso, considerando, então, que há diferença significativa entre os grupos. A análise IndVal é uma identificação de espécies indicadoras de grupos. Ela foi realizada com o objetivo de observar se, para cada estrato, há espécies indicadoras e quais são (DUFRENE; LEGENDRE, 1997).

A diversidade beta foi calculada para identificar a variação na composição da comunidade, que pode estar representada tanto por turnover quando por aninhamento. O aninhamento ocorre quando as comunidades de locais com menor número de espécies são subconjuntos das comunidades com maior riqueza, refletindo um processo não aleatório de perda de espécies. Já o turnover implica a substituição de algumas espécies por outras como consequência de ordenação ambiental (BASELGA, 2009).

A análise de rede é baseada na frequência das ocorrências, ou seja, quantas vezes uma espécie foi encontrada como epibionte de outra espécie basibionte. Através dela conseguimos entender se a morfoespécie é mais encontrada como basibionte ou como epibionte e, estando em uma ou outra posição, se é generalista, ou se interage com uma única ou poucas espécies. O formalismo de rede foi usado para estudar a estrutura de associação dos epibiontes aos diferentes basibiontes. Para aplicar a análise, foi construída uma rede bipartida com todas as espécies, independentemente de local ou estação do ano, estabelecendo ligações entre dois conjuntos distintos de nós (espécies de epibionte e espécies de basibiontes), representando a frequência de uma dada espécie de epibionte com uma dada espécie de basibionte (DESIDERATO, 2020). Na rede bipartida há dois grupos de vértices e nas quais só pode haver conexões entre vértices de grupos diferentes onde cada “0” (zero) representa ausência de interação e cada “1” (um) representa presença de interação (matriz binária) (MELLO *et al.*, 2016). A estrutura das redes acima mencionadas foi estudada usando modularidade (Q), uma estrutura de rede decorrente de grupos conectados (chamados de módulos) de nós (Newman, 2006), que fornece uma descrição do padrão de agregação entre espécies, populações ou comunidades. Uma medida quantitativa de modularidade foi aplicada através da função `metaComputeModules` (com 999 permutações), do pacote `bipartite` (DORMANN *et al.*, 2009) no software R. O algoritmo atribuiu espécies de epibiontes e basibiontes a módulos para calcular um valor de modularidade (Q) que é maior quando as relações de epibiose dentro dos módulos são mais prevalentes e/ou mais fortes do que entre os módulos. Foram criados 100 modelos nulos,

usando o algoritmo swap.web (DORMANN *et al.*, 2009), para testar a probabilidade de as relações de epibiose terem ocorrido ao caso e foram considerados os valores  $< 0,5$ .

## 5. RESULTADOS

A análise da comunidade do biofouling da baía de Paranaguá resultou na identificação de 50 espécies e/ou morfotipos, especificados na Tabela 2, sendo 17 Cnidaria (12 Hydrozoa e 5 Anthozoa), 12 Bryozoa, 5 morfotipos de algas, 6 morfotipos de Crustacea-Balanidae, 3 morfotipos de Bivalvia, 1 Demospongiae, 2 Ascidiacea, 3 morfotipos de tubo de Polychaeta e 1 morfotipo de tubo de Amphipoda (Figura 3). Entre as espécies identificadas, 9 são consideradas introduzidas de acordo com Bumbeer e Rocha (2016), Haddad *et al.* (2014), Miranda *et al.* (2018), Hancock *et al.* (2017) e Beneti (2015): *Amphibalanus reticulatus* e *Megabalanus coccopoma* (Crustacea, Balanidae); *Cayptospadix cerulea* e *Podocoryna loyola* (Cnidaria – Hydrozoa); *Stragulum bicolor* (Cnidaria – Anthozoa); *Diadumene lineata* (Cnidaria – Actiniaria); *Bugula neritina*, *Hippoporina indica* e *Sinoflustra annae* (Bryozoa) ou seja, 18% do total.

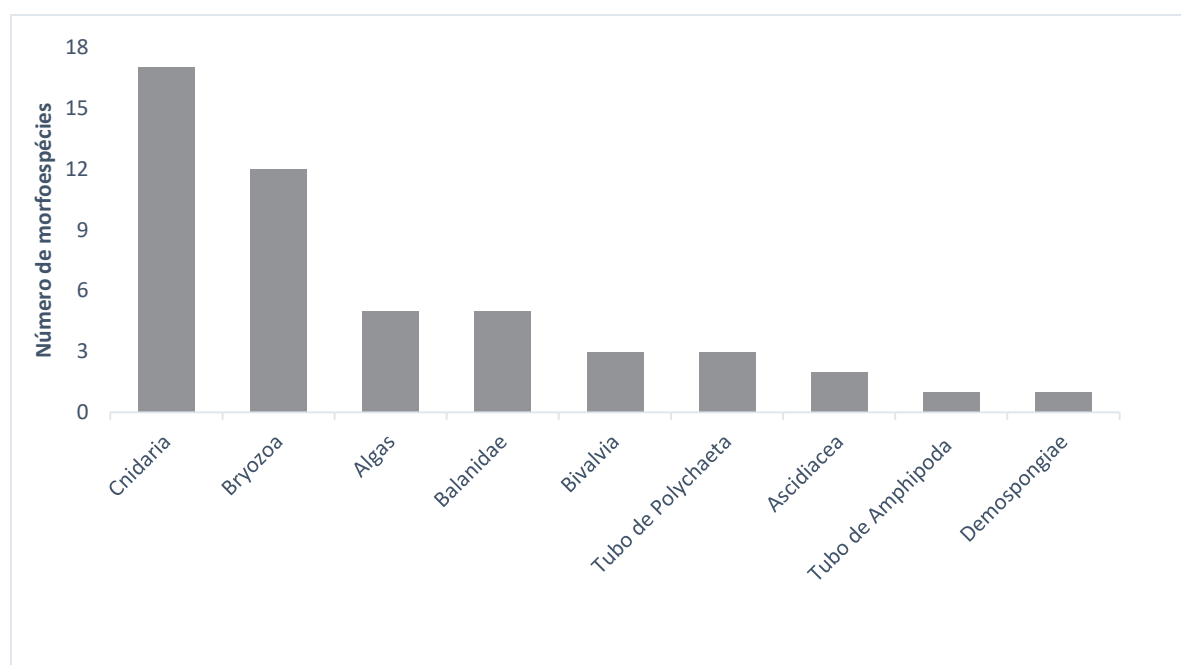


Figura 3: Riqueza da comunidade do biofouling da baía de Paranaguá nos táxons de categorias superiores.

Das 50 morfoespécies encontradas, 5 são de algas e 45 de invertebrados incrustantes marinhos. Estas 45 morfoespécies estão distribuídas em 15 ordens pertencentes a 7 filios (Tabela 2).

Tabela 2: Espécies e morfotipo encontrados no Biofouling do Complexo Estuarino de Paranaguá, por local e por estação do ano. As espécies marcadas com \* são consideradas introduzidas. Classificação conforme WORMS (World Register Marine Species <https://www.marinespecies.org/>)

Classificação	Espécies/morfotipos	Euhalino		Polihalino		Mesohalino	
		verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
Reino Animalia							
<b>Filo Cnidaria</b>							
Classe Hydrozoa							
Subclasse Hydroidolina							
Ordem Leptothecata							
	<i>Clytia cf. gracilis</i> (Sars, 1851)	x	x	x	x	x	x
	<i>Clytia linearis</i> (Thornely, 1900)		x			x	x
	<i>Obelia dichotoma</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	x	x	x	x
	<i>Obelia bidentata</i> (Clark, 1875)			x	x	x	x
	<i>Cirrholovenia tetranema</i> (Kramp, 1959)	x			x		x
	<i>Plumularia</i> sp.				x		
Ordem Anthoathecata							
	Bougainvilliidae sp.	x					
	* <i>Calypso padix cerulea</i> (Clarke, 1882)			x		x	x
	<i>Eudendrium carneum</i> (Clarke, 1882)	x		x		x	
	* <i>Podocoryna loyola</i> (Haddad, Bettim & Miglietta, 2014)	x		x		x	x
	<i>Ectopleura crocea</i> (L. Agassiz, 1862)		x				
	Hydractiniidae sp.	x			x		x
Classe Anthozoa							
Subclasse Octocorallia							
Ordem Alcyonacea							
	* <i>Stragulum bicolor</i> (van Ofwegen & Haddad, 2011)	x		x			
	Octocorallia sp.			x			
Subclasse Hexacorallia							
Ordem Actiniaria							
	<i>Diadumene paranaensis</i> (Beneti, Stampar, Maronna, Morandini & Silveira, 2015)	x	x	x	x	x	x
	* <i>Diadumene lineata</i> (Verrill, 1869)	x		x			
	Actiniaria sp.				x		
<b>Filo Bryozoa</b>							
Classe Gymnolaemata							
Ordem Cheilostomatida							

	<i>*Hippoporina indica</i> (Pillai, 1978)	x	x	x	x		
	Electridae spp.	x	x	x	x	x	x
	<i>*Sinoflustra annae</i> (Osburn, 1953)	x	x			x	
	<i>Savignyella</i> sp.	x					
	<i>Hippopodina</i> sp.	x	x				
	<i>Scrupocellaria</i> sp	x	x				
	<i>Schizoporella</i> sp	x	x				
	<i>Biflustra</i> sp		x				x
	<i>*Bugula neritina</i> (Linnaeus, 1758)	x	x		x		
	<i>Nellia</i> sp	x					
Ordem Ctenostomatida							
	<i>Alcyonidium</i> sp.				x	x	x
	<i>Amathia</i> sp	x					x
<b>Filo Mollusca</b>							
Classe Bivalvia							
Ordem Mytilida	Mytilidae spp	x	x	x	x	x	x
Ordem Myida	Myidae spp	x	x	x	x		x
Ordem Ostreida	Ostreidae spp	x	x	x	x		
<b>Filo Arthropoda</b>							
Subfilo Crustacea							
Classe Thecostraca							
Subclasse Cirripedia							
Ordem Balanomorpha							
	<i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854)			x			
	<i>Amphibalanus eburneus</i> (Gould, 1841)	x		x		x	
	<i>*Amphibalanus reticulatus</i> (Utinomi, 1967)	x		x	x		
	<i>Fistulobalanus citerosum</i> (Henry, 1973)	x	x	x	x	x	
	<i>*Megabalanus coccopoma</i> (Darwin, 1854)	x	x				
	Balanidae spp	x	x	x	x	x	x
Classe Malacostraca							
Superordem Peracarida							
Ordem Amphipoda							
	Tubo Amphipoda (Latreille, 1816)	x	x	x	x		x
<b>Filo Annelida</b>							
Classe Polychaeta							
Ordem Phyllodocida	Tubo Nereididae					x	
Ordem Sabellida	Tubo Sabellidae	x	x	x	x		x
	Tubo Sabellariidae				x		x
<b>Filo Porifera</b>							
Classe Demospongiae							
	Demospongiae spp			x			
<b>Filo Chordata</b>							
Subfilo Tunicata							
Classe Ascidiacea							

Ordem							
Aplousobranchia	<i>Diplosoma</i> sp.						x
Ordem Stolidobranchia	<i>Botrylloides</i> sp.	x					
<b>Algas</b>							
	Alga 1	x		x			
	Alga 2	x		x		x	
	Alga 3			x		x	
	Alga 4	x	x	x		x	x
	Alga 5	x	x	x		x	

A composição de espécies das comunidades difere entre os setores de salinidade e entre inverno e verão (Tabela 3). Com esse resultado, optou-se por analisar as comunidades dos locais e estações separadamente, pois cada uma representa uma comunidade diferente das demais. Esse resultado é corroborado através da análise betadisper (Figura 7).

Tabela 3: PERMANOVA (função *adonis* do software R) das comparações da composição de espécies entre os locais nas diferentes estações. GL1 = Graus de liberdade de grupos. GL2 = Graus de liberdade das observações

Combinação	GL1	GL2	Valor de p
Antonina Inverno <-> Antonina Verão	1	43	0,0015
Antonina Inverno <-> Paranaguá Inverno	1	49	0,0015
Antonina Inverno <-> Paranaguá Verão	1	43	0,0015
Antonina Inverno <-> Pontal Inverno	1	42	0,0015
Antonina Inverno <-> Pontal Verão	1	43	0,0015
Antonina Verão <-> Paranaguá Inverno	1	50	0,0015
Antonina Verão <-> Paranaguá Verão	1	44	0,003
Antonina Verão <-> Pontal Inverno	1	43	0,0015
Antonina Verão <-> Pontal Verão	1	44	0,0015
Paranaguá Inverno <-> Paranaguá Verão	1	50	0,0015
Paranaguá Inverno <-> Pontal Inverno	1	49	0,0015
Paranaguá Inverno <-> Pontal Verão	1	50	0,0285
Paranaguá Verão <-> Pontal Inverno	1	43	0,0015
Paranaguá Verão <-> Pontal Verão	1	44	0,0015
Pontal Inverno <-> Pontal Verão	1	43	0,036

Observando os resultados com relação aos setores de salinidade (Figura 4), vemos que no primeiro estrato o setor polihalino foi o mais abundante, no segundo estrato o euhalino foi o mais abundante e no terceiro estrato o setor mesohalino foi o mais abundante. Com relação à riqueza, o setor euhalino foi o mais rico em todos os estratos. Os resultados relacionados às estações (Figura

4) mostraram que no inverno os estratos um e dois são mais abundantes e no verão o estrato três apresentou maior abundância. Com relação à riqueza, os três estratos foram mais ricos o verão.

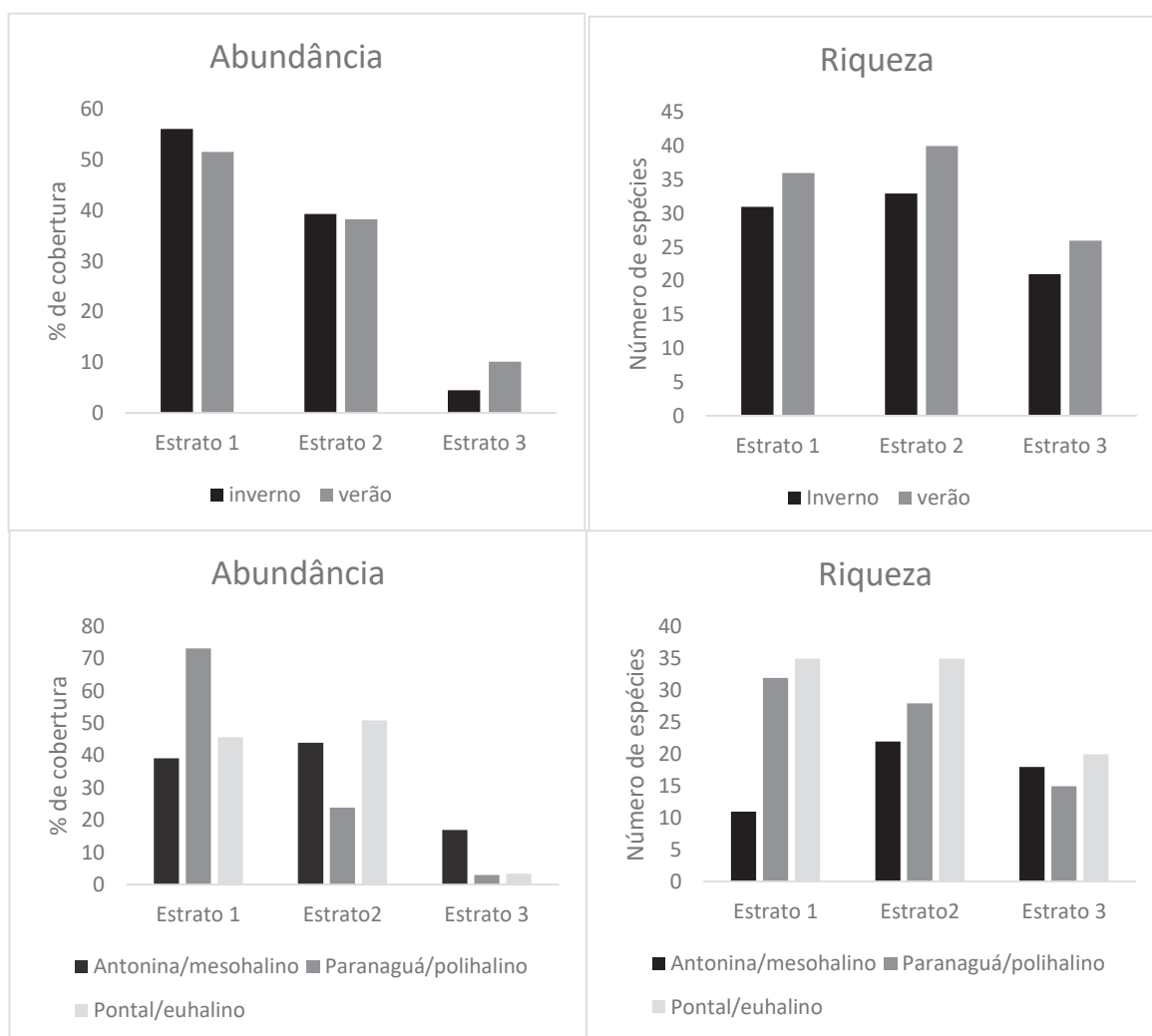


Figura 4: Riqueza e abundância da comunidade dos estratos entre os setores de salinidade e entre as estações. A riqueza está demonstrada por número absoluto e a abundância através da porcentagem de cobertura (soma das porcentagens de cobertura das espécies nas réplicas/placas).

No total dos três locais, e em ambas as estações, Balanidae (cracas) foi a morfoespécie mais abundante, seguida pelo hidroide introduzido *Podocoryna loyola*, tubos de Amphipoda, o hidroide *Obelia dichotoma*, o Bryozoa *Hippoporina indica*, bivalves da família Mytilidae, o hidroide *Clytia*

cf *gracilis* e o Bryozoa *Hippopodina* sp. O restante das espécies mais abundantes no CEP pode ser vistas na Figura 5.

No verão (Figura 6), tanto no primeiro quanto no segundo estratos, a maior abundância foi de Balanidae (cracas), seguido do hidroide *P. loyola*. Ainda, no primeiro estrato houve uma abundância relevante do briozoário *H. indica*. No segundo estrato, outras abundâncias relevantes foram de *O. dichotoma* e tubos de Amphipoda. Já no terceiro estrato, a espécie que mais apareceu foi *Alcyonidium* sp, seguida de *P. loyola*, e dos bivalves Mytilidae e Balanidae.

No inverno (Figura 6), tubos de Amphipoda foram o morfotipo mais abundante no primeiro e segundo estratos e o segundo mais abundante no terceiro estrato. No primeiro estrato, ainda podemos observar abundâncias relevantes dos hidroide *C. cf gracilis* e *O. dichotoma*. No segundo estrato, *O. dichotoma* foi a segunda espécie mais presente, seguida da alga morfotipo 4, que apareceu no terceiro estrato com a maior ocorrência, seguida do hidroide *Cirrhlovenia tetranema*.

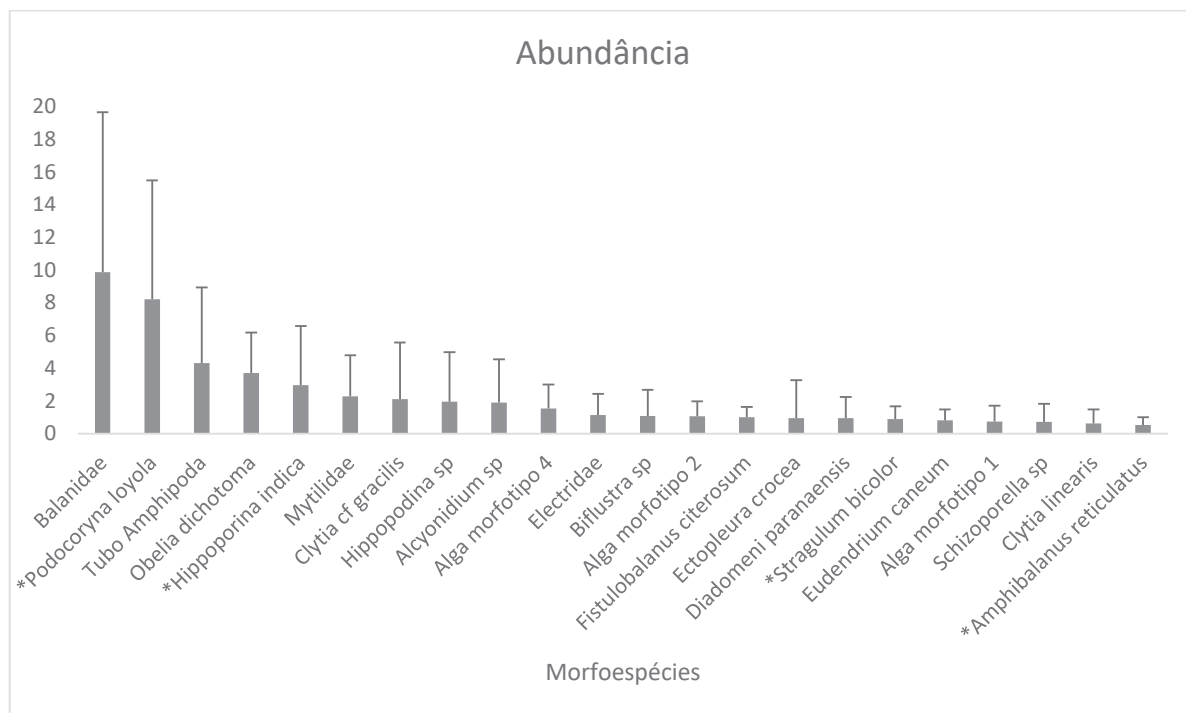


Figura 5: Abundância total das morfoespécies na Baía de Paranaguá (total geral, considerando todos os estratos, locais e estações do ano) mostrando 22 espécies mais abundantes. A figura mostra a média (barras em cinza) e o desvio padrão (linhas pretas acima das barras). Estão destacadas com \* as espécies exóticas.

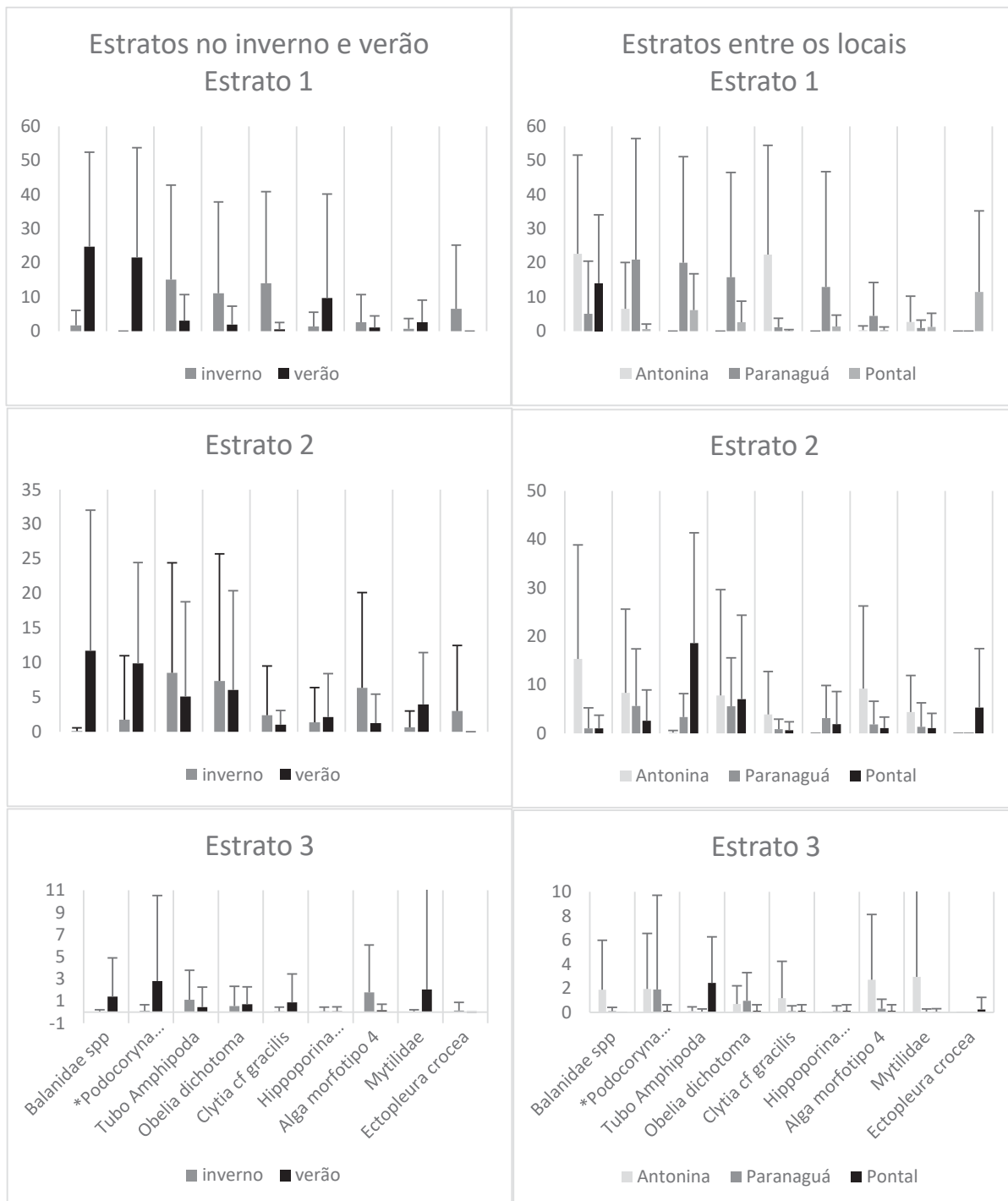


Figura 6: Média das porcentagens de cobertura das morfoespécies e desvio padrão amostral em cada estrato nas estações (verão e inverno) e entre os locais de amostragem. Estão na figura as 9 morfoespécies mais abundantes. A figura mostra a média (barras em cinza) e o desvio padrão (linhas pretas acima das barras).

Os resultados da análise Betadisper (Figura 7) se mostraram significativos (valores de p na Tabela 3) demonstrando que por estrato e estação do ano, a região euhalina (Pontal do Sul) e a polihalina (Paranaguá) são os locais que mais compartilham espécies, principalmente no verão, nos três estratos. A maior variação na composição de espécies entre os locais ocorre no primeiro estrato, no inverno. As maiores diferenças na composição de espécies entre as placas de um mesmo local ocorrem em Paranaguá no verão, no primeiro e no segundo estrato. Em Antonina, no inverno, a composição dos estratos dois e três são mais semelhantes entre si do que do estrato um. Também é possível observar que no estrato 2, encontra-se a maior variação da comunidade entre as placas (demonstrado através da distância entre os triângulos ser maior) e no estrato 1 encontra-se a menor variação da comunidade entre as placas (Figura 7).

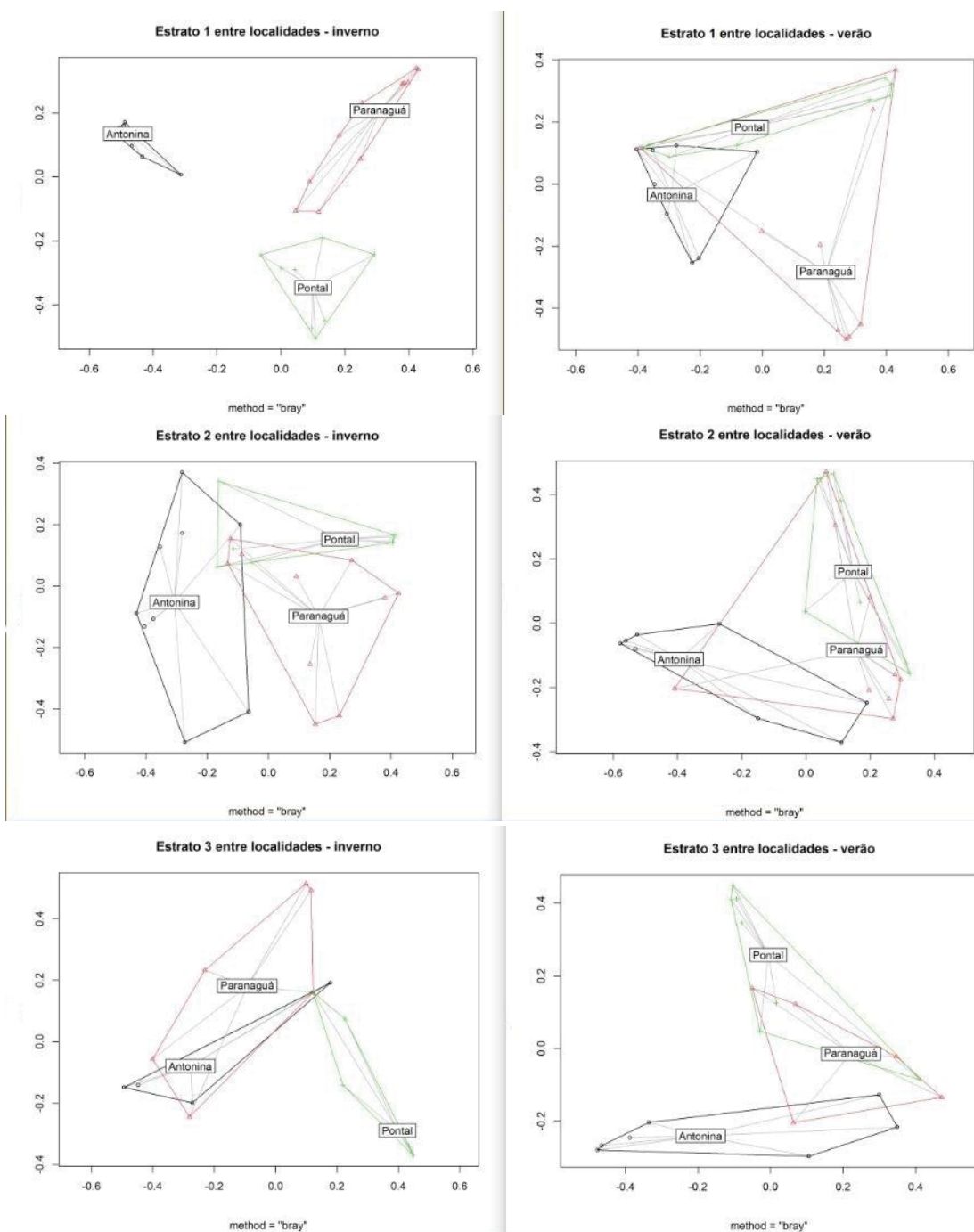


Figura 7: Plots das análises betadisper para os três estratos, por estação do ano, cada um com informações sobre os diferentes locais de amostragem. Os polígonos coloridos representam: verde – setor euhalino (Pontal do Sul), vermelho – setor polihalino (Paranaquá), preto – setor mesohalino (Antonina).

A diversidade beta foi calculada entre os três setores de salinidade/loais de coleta: setor mesohalino (Antonina), polihalino (Paranaguá) e euhalino (Pontal do Sul), separadamente para verão e inverno. No verão, a maior variação de espécies ocorreu entre as comunidades do setor euhalino (Pontal do Sul) e do mesohalino (Antonina), tanto relacionado ao turnover quanto o aninhamento. Há também uma diferença significativa de composição das comunidades do setor euhalino (Pontal do Sul) e polihalino (Paranaguá), relacionada ao turnover e entre o setor polihalino (Paranaguá) e o mesohalino (Antonina), tanto relacionada ao turnover quanto ao aninhamento (

Figura 8). No inverno, a variação entre espécies entre os locais ocorreu devido ao turnover e a maior variação ocorreu entre as comunidades do setor euhalino (Pontal do Sul) e mesohalino (Antonina). Variações significativas também ocorreram entre o setor euhalino (Pontal do Sul) e o setor polihalino (Paranaguá) e, em menor intensidade entre o polihalino (Paranaguá) e mesohalino (Antonina) (

Figura 8).

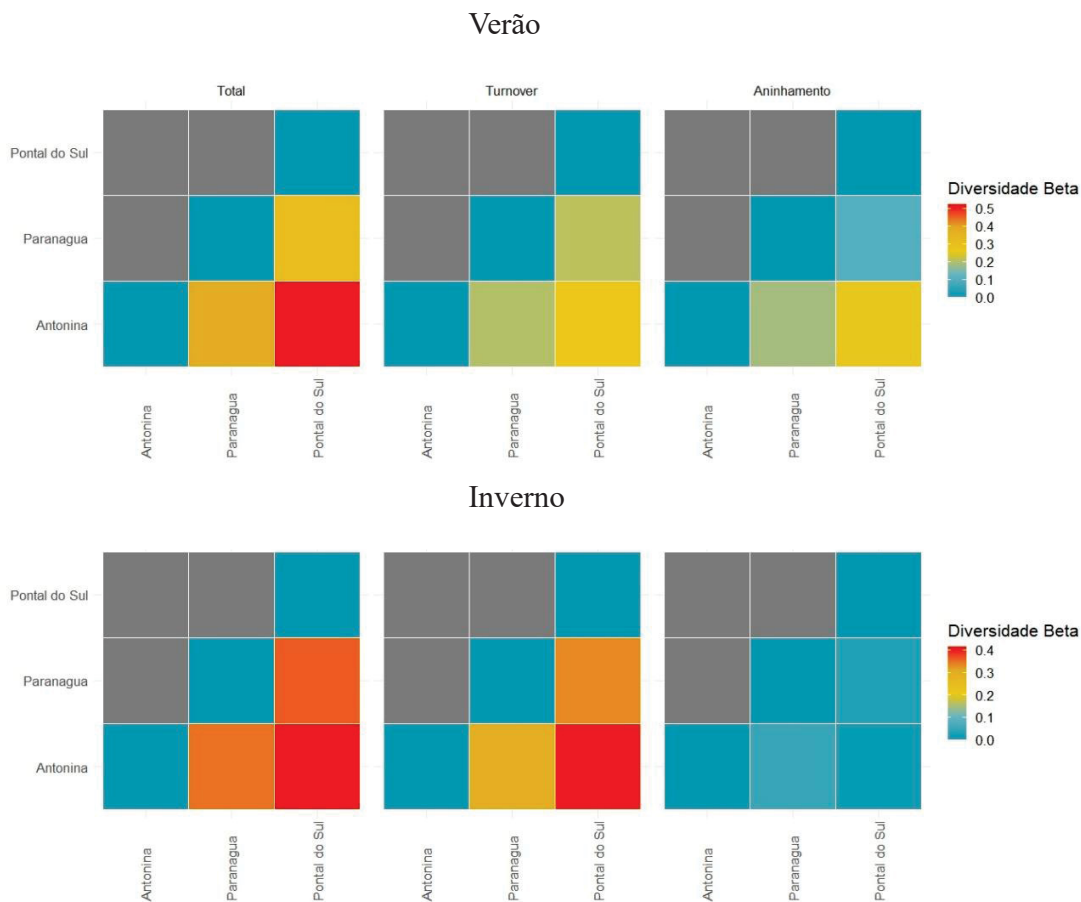


Figura 8: Diversidade beta no verão e no inverno. A figura mostra a diversidade beta total, a diversidade beta representada turnover e a representada por aninhamento.

Foi realizada a análise IndVal, que mostrou que há espécies invasoras significativamente associadas aos estratos, considerando um valor de  $p \leq 0,05$ . A análise foi realizada para os três estratos em cada local e estação e os resultados podem ser vistos nas tabelas 1, 2 e 3 do material suplementar. No primeiro estrato, foram sete as espécies invasoras indicadoras deste estrato: *Amphibalanus reticulatus* (ocorreu em Paranaguá - setor polihalino e Pontal do Sul - setor euhalino no verão), *Megabalanus coccopoma* (ocorreu em pontal do Sul – setor euhalino, no verão); *Podocoryna loyola* (ocorreu em Antonina - setor mesohalino e Paranaguá – setor polihalino, no verão); *Bugula neritina* (ocorreu em Paranaguá – setor polihalino, no inverno); *Diadomeni lineata* (ocorreu em Oaranaguá – setor polihalino, no verão); *Hippoporina indica* (ocorreu em Paranaguá

– setor polihalino, em ambas as estações e em Ponta do Sul – setor euhalino, no verão); *Sinoflustra annae* (ocorreu em Pontal – setor euhalino, no inverno). No segundo estrato, também foram sete as espécies invasoras indicadoras deste estrato: *Calyptospadix cerulea* (ocorreu em Antonina – setor mesohalino, no inverno e Paranaguá – setor polihalino, no verão), *Podocoryna loyola* (ocorreu em de Antonina – setor mesohalino, no inverno e Pontal do Sul – setor euhalino, no verão); *Stragulum bicolor* (ocorreu em Paranaguá – setor polihalino e Pontal do Sul – setor euhalino no verão); *Bugula neritina* (ocorreu em Pontal do Sul – setor euhalino, no inverno e no verão); *Hippoporina indica* (ocorreu em Pontal do Sul – setor euhalino, no inverno); *Diadomeni lineata* e *Sinoflustra annae* (ocorreram em Pontal do Sul, setor euhalino, no verão). Enquanto no terceiro estrato somente *Calyptospadix cerulea* (ocorreu em Antonina – setor mesohalino no verão) apareceu como espécie invasora indicadora.

O estrato 1 teve a maior abundância de espécies exóticas (1019 indivíduos), seguido pelo estrato dois (683 indivíduos) e o menor valor (83 indivíduos) no estrato três. Nas diferentes salinidades, o setor polihalino é o que teve maior abundância de espécies exóticas (969 indivíduos) seguido de 415 indivíduos no setor mesohalino e 415 no setor euhalino. Nas diferentes estações, no verão é onde há maior abundância de espécies exóticas (1321 indivíduos no verão e 470 no inverno) ( Figura 9). Com relação a riqueza das espécies invasoras, temos que os estratos 1 e 2 compartilham o mesmo número, sendo 9 espécies invasoras, o que representa todas as espécies exóticas encontradas. O terceiro estrato apresenta 6 espécies invasoras. Nos setores de salinidade, o euhalino é o mais rico (8 espécies exóticas), seguido dos setores polihalino e mesohalino (6 e 2 espécies invasoras, respectivamente). Observando as estações do ano, no verão apareceram 9 espécies exóticas e no inverno, 6 ( Figura 9).

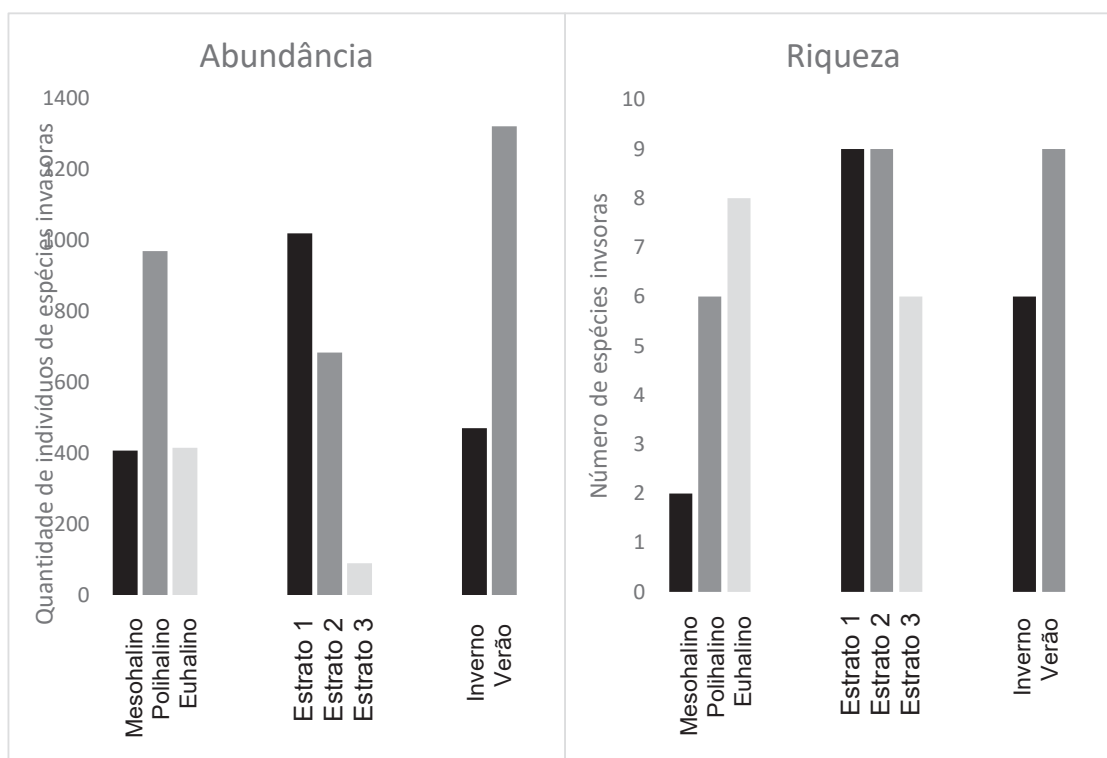


Figura 9: Abundância e riqueza das espécies invasoras nos estratos, nos locais de amostragem e nas estações.

A análise de rede (Figura 100) foi aplicada para todas as morfoespécies encontradas neste estudo, mas para a descrição dos resultados, foram consideradas as dez espécies mais abundantes, em ordem decrescente de acordo com a Figura 5, e as espécies exóticas. A análise mostrou que:

**Balanidae (Crustacea - Cirripedia):** Foram os organismos mais abundantes no primeiro estrato de colonização das placas, conseqüentemente, foram os basibiontes que mais apareceram nas interações de epibiose, como basibionte, foram generalistas, ou seja, diversas morfoespécies foram encontradas como seus epibiontes nos estratos 2 e 3. Como epibiontes, foram encontradas, na maioria das vezes, sobre outros Balanidae, mostrando serem epibiontes específicos do outros Cirripedia.

***Podocoryna loyola* (Hydrozoa):** Espécie exótica, mais abundante como epibionte, generalista tanto quanto basibionte quanto como epibionte, porém, como epibionte se desenvolve mais frequentemente sobre Balanidae seguindo, em frequência, sobre *Hippoporina indica* e outras colônias de *Podocoryna loyola*. Na posição de basibionte, se relaciona frequentemente com o hidrozoário *Obelia dichotoma*, com algas e com outras colônias de *Podocoryna loyola*.

Tubos de Amphipoda (Crustacea): É comum como epibionte, sendo mais generalista nesta posição. Como basibionte, aparece relacionado principalmente com *Obelia dichotoma*, e outros tubos de Amphipoda.

*Obelia dichotoma* (Hydrozoa): É mais frequente e generalista como epibionte. Cresce sobre várias morfoespécies de basibiontes, destacando-se os tubos de Amphipoda, Balanidae, e *Podocoryna loyola*.

*Hippoporina indica* (Bryozoa): Aparece com maior frequência como basibionte, sendo generalista tanto nesta posição quanto como epibionte. Como epibiontes mais comuns de *H. indica* apareceram *Stragulum bicolor*, outras colônias de *H. indica* e *Podocoryna loyola*. Como basibionte mais comum de *H. indica* ocorreram outras colônias de *H. indica*.

Mytilidae (Bivalvia): foi mais comum como basibionte, sendo generalista em ambas as posições. Os epibiontes mais frequentes de Mytilidae são outros Mytilidae, o Bryozoa *Alcyonidium sp* e Balanidae. Os basibiontes mais frequentes são outros Mytilidae, Balanidae, *Alcyonidium sp* e o hidrozoário *Ectopleura crocea*.

*Clytia cf gracilis* (Hydrozoa): foi mais frequente como epibionte, sendo generalista em ambas as posições.

*Hippopodina sp.* (Bryozoa): mais frequente como basibionte, sendo generalista em ambas as posições, não apresentando maior frequência com nenhuma morfoespécie nem como epibionte nem como basibionte.

*Alcyonidium sp* (Bryozoa): foi bem mais comum como epibionte, ocorrendo com mais frequência com Balanidae, Mytilidae e outras colônias de *Alcyonidium sp.*. Como basibionte ocorre somente com Mytilidae, outras colônias de *Alcyonidium sp.*, tubos de Amphipoda e *Ectopleura crocea*.

Alga morfotipo 4: Mais comum como epibionte, sendo generalista em ambas as posições, não mostrando maior relação com nenhuma morfoespécie.

*Stragulum bicolor* (Anthozoa): Espécie exótica, mais frequente como epibionte, mostrando crescer com frequência sobre *Hippoporina indica*. Como basibionte foi generalista.

*Amphibalanus reticulatus* (Balanidae): Espécie exótica, mais comum como basibionte, generalista, mas ocorreu com mais frequência como basibionte de *Podocoryna loyola*. Como epibionte ocorre somente sobre Balanidae, com maior abundância, *Amphibalanus reticulatus* e Mytilidae.

*Calyptospadix cerulea* (Hydrozoa): Espécie exótica, mostrou frequência semelhante como epibionte e como basibionte. Como basibionte foi generalista e como epibionte ocorreu exclusivamente sobre Balanidae.

*Megabalanus coccopoma* (Balanidae): Espécie exótica. Apareceu somente como basibionte, em epibiose com quatro morfoespécies: com *Ectopleura crocea* e tubos de Amphipoda em maior frequência, e com Mytilidae e *Diadumene paranaensis*.

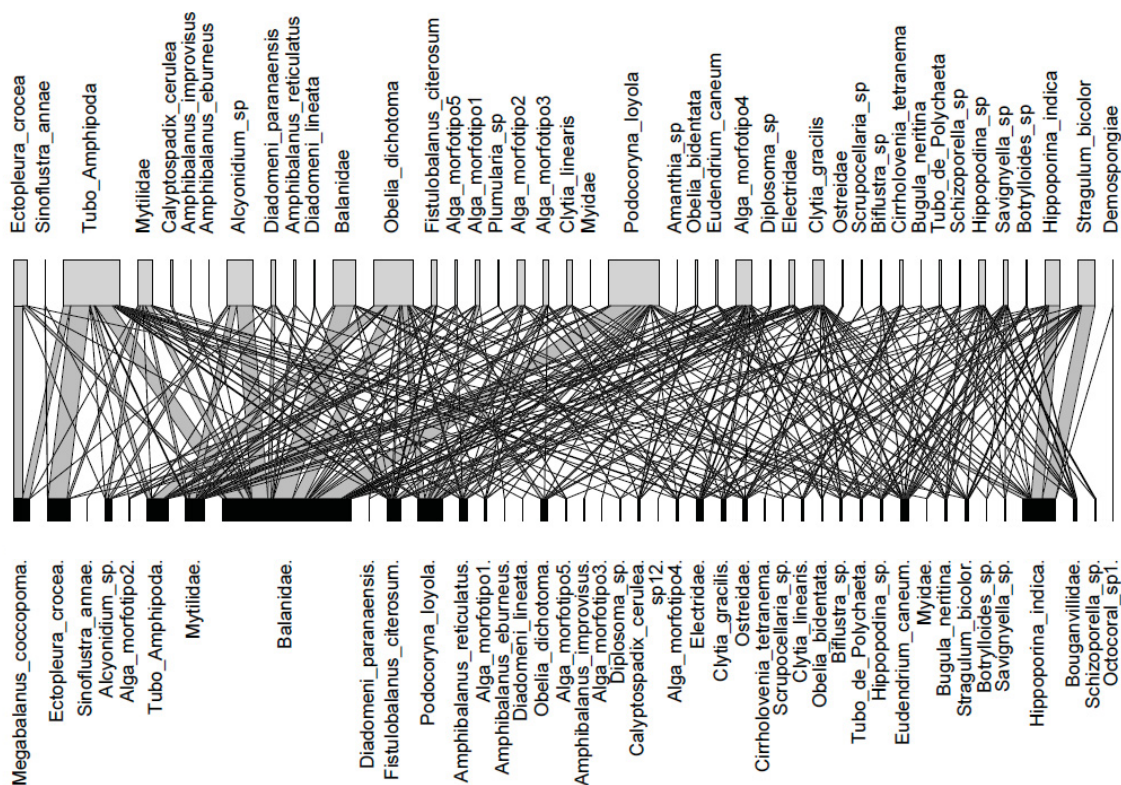


Figura 100: Morfoespécies de epibiontes (acima) e basibiontes (abaixo) encontradas em toda a região, independente de salinidade e estação do ano. A espessura das linhas que conectam os dois níveis é proporcional à frequência da interação encontrada. O tamanho dos retângulos que acompanham cada morfoespécie é proporcional à abundância de cada espécie como basibionte e como epibionte.

Através da busca das palavras-chave já citadas anteriormente, foram encontrados 275 artigos na Web of Science (pesquisa realizada em 22/11/2022) e entre eles, 55 tratam especificamente sobre epibiose. Dentre estes 55, 27 pesquisam sobre epibiose com organismos incrustantes (não estão incluídos aqui artigos sobre organismos móveis, como epibiontes ou basibiontes): 10 estudam

sobre epibiose em algas, 12 sobre epibiose em bivalves, 3 sobre epibiose em Polychaeta, 1 sobre epibiose em Bryozoa e 1 artigo estuda sobre epibiose como facilitação (relacionado ao conceito de cascata de facilitação) (Tabela 4). Dos 27 artigos sobre epibiose relacionada a organismos incrustantes, apenas 13 estudaram sobre o fouling, ou seja, comunidades incrustantes em substrato artificial (Tabela 4). Dentre eles, 8 discutem sobre epibiose em bivalves (ostras ou mexilhões), 3 sobre epibiose em algas e 2 em Bryozoa.

Tabela 4: Estudos sobre epibiose encontrados através de pesquisas por palavras-chave específicas na base de dados Web of Science.

	nº de artigos	Local		Substrato	
		Brasil	Exterior	Natural	Artificial
Epibiose como facilitação	1	0	1	1	0
Epibiose em algas	10	0	10	8	3
Epibiose em Bryozoa	1	0	1	0	2
Epibiose em bivalve	12	2	10	4	8
Epibiose em Polychaeta	3	1	2	3	0

## 6. DISCUSSÃO

A hipótese a, que a região euhalina teria maior riqueza e abundância de epibiontes foi corroborada a não ser para a abundância do estrato 3, onde a região mesohalina foi a mais abundante (Figura 4). As comunidades incrustantes de estuários são constituídas majoritariamente por organismos marinhos, poucas espécies são exclusivas de estuários. Por isto, o número de espécies diminui com o declínio da salinidade em direção ao interior nos estuários (GUNTER, 1961). A salinidade é um determinante da estrutura das comunidades e da distribuição de espécies em grande escala. Um gradiente que apresenta diminuição da salinidade e mudanças em condições climáticas (por exemplo, diminuição da temperatura) pode explicar o rápido declínio em abundância e cobertura percentual da fauna (GRABOWSKA; KUKLISKI, 2016). Realizando um levantamento sobre a relação entre epibiose e alterações de salinidade, não foram encontrados trabalhos que mostrassem algum padrão ou tendência com relação a isso.

Espécies formadoras de habitat ou espécies de fundação minimizam as condições ambientais e podem, portanto, facilitar a colonização de outras espécies associadas (SILLIMAN *et al.*, 2011).

Com isso, era esperado (hipótese b) que o segundo estrato tivesse a maior riqueza e abundância de espécies, tanto entre as estações quanto entre os setores de salinidade, devido a facilitação mediada pelo aumento do tamanho da superfície e densidade dos basibiontes (THOMSEN *et al.*, 2016). Essa hipótese foi corroborada em partes. Quanto à riqueza, o segundo estrato foi o mais rico no inverno e no verão e, entre os setores de salinidade, o segundo estrato só não foi mais rico no setor polihalino (Figura 4). Com relação a abundância, não teve maior abundância do que o primeiro entre as estações e, nos setores de salinidade, o segundo estrato foi o mais abundante, exceto no setor mesohalino (Antonina). Quanto ao terceiro estrato, a hipótese b foi corroborada, em riqueza e abundância teve os menores valores (Figura 4).

Os resultados de riqueza e abundância das espécies e a composição das comunidades diferiram entre inverno e verão (Figura 4, Figura 7 e Figura 9). Isso já era esperado (hipótese c), pois já é de conhecimento que os valores de riqueza e cobertura dos organismos incrustantes variam conforme a estação (LIN; SHAO, 2002; PARK; HWANG, 2012; MATSSON, 2021), como resultado de uma combinação do período reprodutivo e uma maior ou menor taxa de crescimento dependendo da estação (MERETTA; GENZANO, 2015). No verão, uma maior temperatura da água favorece a reprodução, assentamento, recrutamento e crescimento de um maior número de espécies em zonas subtropicais (COLLING *et al.*, 2007). Os resultados mostraram uma maior riqueza nos três estratos no verão, corroborando a hipótese c, mas isso não ocorreu com a abundância, que só foi maior no estrato três (Figura 4), rejeitando em partes a hipóteses. Com relação às espécies exóticas, a hipótese c foi corroborada, pois a riqueza abundância destas foi maior no verão (Figura 9).

Com relação aos estratos nas diferentes estações, os setores euhalino (Pontal do Sul) e polihalino (Paranaguá) são os locais que mais compartilham espécies, o que é observado mais expressivamente no verão, em todos os estratos, possivelmente devido a salinidade de ambos os locais não apresentar grande variação. Há uma maior variação de organismos que se estabelecem no estrato dois do que no um e no três, o que indica que o estrato um é mais seletivo com relação a diversidade de organismos que compõem a comunidade (Figura 7).

Nos estuários, a distribuição e abundância das espécies estão diretamente relacionadas à sua capacidade de suportar as condições ambientais e às suas habilidades. Nesses ambientes, um dos principais fatores determinantes da distribuição, riqueza e abundância é a salinidade (RIBEIRO, 2011). Através da diversidade beta, demonstra-se que a maior variação entre as espécies ocorreu

entre as comunidades de Pontal do Sul (região euhalina) e Antonina (região mesohalina), locais onde há grande diferença de salinidade (Figura 8). Essa grande diferença entre as comunidades era esperada (hipótese d), pois a diferença de salinidade ao longo do estuário atua como uma barreira fisiológica para espécies do ambiente euhalino adentrarem na baía (ROSA FILHO *et al.*, 2006).

Ainda através da diversidade beta (Figura 8) conseguimos identificar a variação na composição da comunidade, que pode estar representada tanto por turnover quando por aninhamento. O turnover é a variação devido uma troca de espécies, ou seja, algumas espécies que ocorrem em um local não ocorrem no outro e dão lugar para outras espécies que não ocorriam no primeiro e assim por diante. Outro processo de variação da composição é o aninhamento, quando há uma perda de espécies de um local para o outro. Ainda é possível que ocorram os dois processos simultaneamente, o turnover + aninhamento. Para saber qual processo ocorre na comunidade estudada, foi feita a dissimilaridade de Simpson, que indica a variação devido a troca de espécies ou o turnover. Sendo assim, uma maior variação de espécies no verão ocorreu entre as comunidades de Pontal do Sul (setor euhalino) e Antonina (setor mesohalino), tanto devido ao turnover quanto o aninhamento, mostrando que há tanto uma troca de espécies entre estes locais quanto uma perda de espécies de um local para o outro. Já no inverno pode-se concluir que a variação entre espécies entre os locais ocorreu devido ao turnover, ou seja, houve uma troca de espécies entre estes locais e a maior variação ocorreu entre as comunidades de Pontal do Sul (setor euhalino) e Antonina (setor mesohalino) (Figura 8).

A análise de espécies indicadores, IndVal, mostrou que há espécies invasoras mais relacionadas a todos os três estratos. É importante observar aqui que as espécies invasoras indicadoras não apareceram somente no setor polihalino, onde encontra-se o Porto de Paranaguá, mas sim, distribuíram-se por todos os setores, indicando que ocorre uma dispersão destas espécies a partir do seu provável ponto de origem. Considerando que o porto de Paranaguá é de grande porte, que abrange uma grande área de influência e que o porto de Antonina é de pequeno porte, cuja área de influência fica restrita ao Estado do Paraná (Campos Neto, 2006), é provável que estas espécies exóticas tenham o porto de Paranaguá como local de chegada no CEP. Isso pode ocorrer devido a grande quantidade de estruturas artificiais na baía, o que permite que espécies incrustantes do “biofouling” que chegam aos portos internacionais, percorram distâncias maiores usando estruturas urbanas como “trampolins” (Connell, 2001). Desta forma, espécies invasoras podem ser facilmente

dispersas através de atividades antrópicas. Ainda, é característica de espécies exóticas uma maior tolerância a grandes variações de salinidade e temperatura (Neves & Rocha, 2008).

A hipótese que o primeiro estrato teria mais espécies exóticas foi corroborada em partes pelos resultados e análises. Em teoria, espécies exóticas recrutam antes das nativas (MELO *et al.*, 2021) e no presente trabalho a abundância das espécies exóticas foi maior no estrato 1, porém a riqueza foi a mesma entre os estratos 1 e 2 ( Figura 9). A hipótese que o setor mesohalino apresentaria maior riqueza e abundância de espécies introduzidas, pois é o setor mais próximo ao porto, foi rejeitada. Os resultados mostraram que o setor polihalino teve mais abundância que o mesohalino e que há mais espécies invasoras no setor euhalino, sendo este o mais rico ( Figura 9).

Em 2008, Neves e Rocha, através da análise de organismos coletados por raspagem de substratos artificiais, encontraram 4 espécies introduzidas, o que representava 8% do total de espécies encontrado no local de amostragem, localizado no Iate Clube, em Paranaguá. Essa proporção foi, na época, maior do que a encontrada em outros locais próximos a Portos, como na Austrália e Rio de Janeiro. Em 2010, Cangussu e colaboradores encontraram 7 espécies introduzidas no Yacht Club de Paranaguá, representando 16% do total, com amostragem realizada através de placas de granito e de polietileno submersas. No ano de 2016, Bumbeer e Rocha encontraram 19 espécies introduzidas, com amostragem realizada tanto em substrato natural quanto artificial através de raspagem, que representavam um total de 11% do todas as espécies encontradas no Complexo Estuarino de Paranaguá. No presente trabalho, foram identificadas 9 espécies consideradas introduzidas, representando 18% do total, o que é maior que a porcentagem de espécies introduzidas comumente encontradas em outros estudos realizados no CEP.

Entre as espécies introduzidas, merece destaque a *P. loyola*, devido ao seu recente histórico de introdução. Esta espécie foi reportada para a Baía de Paranaguá pela primeira vez em 2007 (HADDAD *et al.* 2014). Observou-se uma ocorrência bastante expressiva de *P. loyola* no verão. Este padrão, onde há maior ocorrência da espécie no verão na área do CEP, já havia sido observado por Bettim e Haddad (2017). As prováveis causas para isso são que em períodos de temperaturas mais altas, os hidroides otimizam suas atividades e investem mais na reprodução e crescimento. Ainda, neste período do ano, há uma maior disponibilidade de alimentos, devido ao aumento da produção primária estimulada pelas chuvas, aliada à maior temperatura da água. Isso também ocorre com outros representantes da família Hydractiniidae em outros locais do planeta (BETTIM; HADDAD, 2017). Apesar de a *Podocoryna loyola* ter abundância notadamente maior no verão,

sendo pouco comum no inverno ainda assim, aparece como um dos epibiontes mais frequentes quando reunimos ambas as estações (Figura 6). Isso pode mostrar um padrão de desenvolvimento que merece atenção, devido a sua capacidade de crescimento sobre outros organismos e devido ao fato da bioinvasão ser reconhecida como um dos fatores externos mais importantes que afetam a estrutura e as funções dos ecossistemas marinhos globalmente (OJAVEER; KOTTA, 2015).

A hipótese foi corroborada, pois através da análise de redes foi possível observar que há espécies que foram mais frequentes como epibiontes, e outras como basibiontes. Neste sentido podemos citar como epibiontes: *Alcyonidium sp.*, tubos de Amphipoda, *Podocoryna loyola*, *Obelia dichotoma*, alga morfotipo 4, *Clytia cf. gracilis*, e *Stragulum bicolor*. Como basibiontes: *Megabalanus coccopoma*, Balanidae, *Eudendrium carneum*, *Hippoporina indica*, e *Bouganvillidae sp.* O restante das espécies encontradas no CEP é generalista, tanto como epibionte quanto como basibionte. As espécies exóticas não mostraram um padrão geral, como basibiontes ou epibiontes, ou interagindo com maior frequência com determinada espécie, cada uma apresentando características particulares de relações de epibiose.

A família Balanidae, tanto as identificadas a nível de espécie quanto as que foram identificadas somente como Balanidae, ocorreram quase exclusivamente como epibiontes de outros Balanidae, porém como basibiontes foram generalistas, servindo como substrato de crescimento para a maioria das morfoespécies encontradas no CEP. Cracas parecem ser o colonizador inicial, controlando indiretamente a maior parte da diversidade de espécies. Além disso, a presença de cracas de segunda camada contribui para o fornecimento de microhabitat protegido para pequenos colonizadores ligados a cracas de primeira camada, o que pode aumentar ainda mais o efeito indireto da cascata trófica (YAKOVIS; ARTEMIEVA, 2021). Neste sentido, é possível que indivíduos da família Balanidae atuem como facilitadores, em um contexto de cascatas de facilitação, que ocorrem quando espécies de fundação em uma comunidade estão envolvidas em uma hierarquia de interações positivas e consistem em um facilitador primário que afeta positivamente os facilitadores secundários (YAKOVIS; ARTEMIEVA, 2017). Também, Balanidae foi a morfoespécie mais abundante de todo o CEP (Figura 5), fato que já havia sido reportado em estudo com painéis artificiais (CORREIA, 1992), mostrando a importância desta família de crustáceos para o biofouling.

Utilizando as palavras-chave já descritas acima, não foi encontrado nenhum estudo sobre epibiose entre organismos incrustantes do biofouling que levasse em consideração todos os

organismos de uma comunidade como basibiontes e como epibiontes utilizando substrato artificial para a pesquisa. Também, não foi encontrado nenhum estudo que registrasse o terceiro estrato e identificasse as morfoespécies que o formam. Pesquisas sobre cascatas de facilitação não possuem limite teórico para o número de níveis estudados, mas a existência de mais de dois raramente foi examinada (YAKOVIS; ARTEMIEVA, 2017). Estudos sobre sucessão ecológica comentam sobre os colonizadores de substratos artificiais pioneiros e os que chegam depois, porém sem estudar com detalhes as comunidades dos três estratos separadamente, identificando as espécies e suas inter-relações como basibiontes e epibiontes. Realizando uma nova pesquisa, desta vez sobre estudos relacionados a epibiose entre organismos incrustantes na baía de Paranaguá (área de estudo do presente trabalho), não há nenhum estudo que abranja todas as morfoespécies de uma comunidade como basibiontes e também epibiontes. Foram encontrados apenas estudos espécie-específicos, onde uma determinada espécie aparece como epibionte ou basibionte. É o caso do hidroide *Podocoryna loyola* como epibionte do Bryozoa *Hippoporina indica* (BETTIM, 2017); epibiontes do octocoral *Stragulum bicolor* (ALTVATER; COUTINHO, 2015); diatomáceas como epibiontes de Amphipoda (DESIDERATO *et al.*, 2021).

Este estudo oferece conhecimentos para que mais pesquisas sejam feitas com os diferentes estratos relacionados à epibiose. Algumas sugestões para próximas pesquisas relacionadas são: estudar diferentes tempos de duração de submersão para entender a sucessão da comunidade e dos estratos e como eles se desenvolvem; entender se a epibiose prejudica o crescimento de basibiontes; se as espécies introduzidas podem funcionar, como epibiontes, simplificando a comunidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTVATER, Luciana; COUTINHO, Ricardo. Colonisation, competitive ability and influence of *Stragulum bicolor* van Ofwegen and Haddad, 2011 (Cnidaria, Anthozoa) on the fouling community in Paranaguá Bay, Southern Brazil. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 462, p. 55-61, 2015.

AZEVEDO, Joana *et al.* Monitoring of biofouling communities in a Portuguese port using a combined morphological and metabarcoding approach. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 13461, 2020.

BASELGA, Andrés. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. **Global ecology and biogeography**, v. 19, n. 1, p. 134-143, 2010.

BENETI, Julia S. *et al.* A new species of *Diadumene* (Actiniaria: Diadumenidae) from the subtropical coast of Brazil. **Zootaxa**, v. 4021, n. 1, p. 156-168, 2015.

BELL, Caroline; MCQUAID, Christopher D.; PORRI, Francesca. Barnacle settlement on rocky shores: Substratum preference and epibiosis on mussels. **Journal of experimental marine biology and ecology**, v. 473, p. 195-201, 2015.

BETTIM, Ariane Lima. **Resistência biótica ao hidrozoário *Podocoryna loyola* Haddad, Bettim, & Miglietta, 2014 (Cnidaria, Hydrozoa, Hydractiniidae) introduzido na Baía de Paranaguá, Paraná.** Tese de doutorado (Zoologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

BETTIM, Ariane Lima; HADDAD, Maria Angélica. Seasonal recruitment of the hydroid *Podocoryna loyola* (Hydractiniidae) in the Paranaguá Bay, South of Brazil. **Marine Biology Research**, v. 13, n. 5, p. 560-572, 2017.

BOZKURT, Ahmet; GENC, Ercument. First Record of the Epibiont Protozoan *Epistylis* sp. on Zooplankton (Copepoda, Cladocera, and Rotifera) from the Asi River, Turkey. **Crustaceana**, p. 515-530, 2009.

BROWN, Kenneth M.; SWEARINGEN, David C. Effects of seasonality, length of immersion, locality and predation on an intertidal fouling assemblage in the Northern Gulf of Mexico. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 225, n. 1, p. 107-121, 1998.

BRUNO, John F.; STACHOWICZ, John J.; BERTNESS, Mark D. Inclusion of facilitation into ecological theory. **Trends in ecology & evolution**, v. 18, n. 3, p. 119-125, 2003.

BUMBEER, Janaína; ROCHA, Rosana Moreira da. Invading the natural marine substrates: a case study with invertebrates in South Brazil. **Zoologia (curitiba)**, v. 33, 2016.

CÁCERES, Miquel De; LEGENDRE, Pierre. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. **Ecology**, v. 90, n. 12, p. 3566-3574, 2009.

CALLOW, Maureen E.; CALLOW, James A. Marine biofouling: a sticky problem. **Biologist**, v. 49, n. 1, p. 1-5, 2002.

CANGUSSU, Leonardo C. *et al.* Substrate type as a selective tool against colonization by non-native sessile invertebrates. **Brazilian Journal of oceanography**, v. 58, p. 219-231, 2010.

CHEN, Yi-Yang; EDGAR, Graham J.; FOX, Rebecca J. The nature and ecological significance of epifaunal communities within marine ecosystems. **Oceanography and Marine Biology**, 2021.

COLLING, Leonir A.; BEMVENUTI, Carlos E.; GANDRA, Michel S. Seasonal variability on the structure of sublittoral macrozoobenthic association in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 97, p. 257-262, 2007.

CONNELL, Sean Duncan. Urban structures as marine habitats: an experimental comparison of the composition and abundance of subtidal epibiota among pilings, pontoons and rocky reefs. **Marine Environmental Research**, v. 52, n. 2, p. 115-125, 2001.

CONNELL, S. D.; GLASBY, T. M. Do urban structures influence local abundance and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney Harbour, Australia. **Marine Environmental Research**, v. 47, n. 4, p. 373-387, 1999.

CORREIA, Monica Dorigo. Comunidades incrustantes das baías de Guanabara e da Ilha Grande, litoral do Rio de Janeiro, Brasil. **Cadernos Ômega. Série Ciências Aquáticas**, Recife, n. 3, p. 67-78, 1992.

DA COSTA, Kelli Garboza; PEREIRA, Luci Cajueiro Carneiro; DA COSTA, Rauquírio Marinho. Short and long-term temporal variation of the zooplankton in a tropical estuary (Amazon region, Brazil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 3, n. 2, p. 127-141, 2008.

DESIDERATO, A. **Amphipod fouling: diversity, biogeography and drivers of an understudied community**. Tese de doutorado (Zoologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021

DESIDERATO, Andrea *et al.* Diatom Epibionts on Amphipod Crustaceans: A Possible Vector for Co-introductions?. **Water**, v. 13, n. 16, p. 2227, 2021.

DORMANN, Carsten F. *et al.* Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. **The Open Ecology Journal**, v. 2, n. 1, 2009.

DUFRÊNE, Marc; LEGENDRE, Pierre. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological monographs**, v. 67, n. 3, p. 345-366, 1997.

DVORETSKY, Alexander G.; DVORETSKY, Vladimir G. New echinoderm-crab epibiotic associations from the coastal Barents Sea. **Animals**, v. 11, n. 3, p. 917, 2021.

ELLIOTT, Michael; MCLUSKY, Donald S. The need for definitions in understanding estuaries. **Estuarine, coastal and shelf science**, v. 55, n. 6, p. 815-827, 2002.

FERNANDEZ-LEBORANS, Gregorio. Epibiosis in Crustacea: an overview. **Crustaceana**, p. 549-640, 2010.

FITRIDGE, Isla *et al.* The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. **Biofouling**, v. 28, n. 7, p. 649-669, 2012.

DA GAMA, Bernardo Antônio Perez; PEREIRA, Renato Crespo; COUTINHO, Ricardo. Bioincrustação marinha. **Pereira RC, Soares-Gomes A, orgs. Biologia Marinha. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Interciência**, p. 299-318, 2009.

Grabowska, M., & Kukliski, P. (2016). Spatial pattern of hydrolittoral rock encrusting assemblages along the salinity gradient of the Baltic Sea. **Hydrobiologia**, 765(1), 297.

Gunter, G. (1961). Some relations of estuarine organisms to salinity. **Limnology and Oceanography**, 6(2), 182-190.

GUNTER, Gordon. Some relations of estuarine organisms to salinity. **Limnology and Oceanography**, v. 6, n. 2, p. 182-190, 1961.

GUTIÉRREZ, Jorge L.; BAGUR, María; PALOMO, M. Gabriela. Algal epibionts as co-engineers in mussel beds: effects on abiotic conditions and mobile interstitial invertebrates. **Diversity**, v. 11, n. 2, p. 17, 2019.

HADDAD, Maria Angelica *et al.* *Podocoryna loyola*, n. sp. (Hydrozoa, Hydractiniidae): a probably introduced species on artificial substrate from southern Brazil. **Zootaxa**, v. 3796, n. 3, p. 494-506, 2014.

HANCOCK, Zachary B.; GOEKE, Janelle A.; WICKSTEN, Mary K. A sea anemone of many names: a review of the taxonomy and distribution of the invasive actiniarian *Diadumene lineata* (Diadumenidae), with records of its reappearance on the Texas coast. **ZooKeys**, n. 706, p. 1, 2017.

KAMYAB, Elham *et al.* Anti-fouling effects of saponin-containing crude extracts from tropical Indo-Pacific sea cucumbers. **Marine drugs**, v. 18, n. 4, p. 181, 2020.

LANA, P. C. *et al.* The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: **Coastal marine ecosystems of Latin America**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. p. 131-145.

LAUDIEN, Jürgen; WAHL, Martin. Indirect effects of epibiosis on host mortality: seastar predation on differently fouled mussels. **Marine Ecology**, v. 20, n. 1, p. 35-47, 1999.

LIN, Hsing-Juh; SHAO, Kwang-Tsao. The development of subtidal fouling assemblages on artificial structures in Keelung Harbor, Northern Taiwan. **ZOOLOGICAL STUDIES-TAIPEI**, v. 41, n. 2, p. 170-182, 2002.

- LINDEGARTH, M. Assemblages of animals around urban structures: testing hypotheses of patterns in sediments under boat-mooring pontoons. **Marine Environmental Research**, v. 51, n. 4, p. 289-300, 2001.
- MATSSON, Sanna. Fouling of macro epibionts on cultivated *Saccharina latissima* (Phaeophyceae). In situ temporal and spatial variation. 2021.
- MCGOWAN, Kerry L.; IYENGAR, Erika V. The difference between a rock and a biological hard place: epibionts in the rocky intertidal. **Marine Biology**, v. 164, p. 1-15, 2017.
- MERETTA, Pablo Ezequiel; GENZANO, Gabriel Nestor. Epibiont community variation on two morphologically different hydroid colonies: *Amphisbetia operculata* and *Plumularia setacea* (Cnidaria, Hydrozoa). **Marine Biology Research**, v. 11, n. 3, p. 294-303, 2015.
- MELO, Arthur VOM; SCHWAMBORN, Ralf; FARRAPEIRA, Cristiane MR. Recruitment of sessile and sedentary animals on artificial substrate in the port area of Recife-PE, with focus on bioinvasion. **Latin American Journal of Development**, v. 3, n. 4, p. 2307-2323, 2021.
- Mello MAR, Muylaert RL, Pinheiro RBP & Ferreira GMF. 2016. Guia para análise de redes ecológicas (1st ed.). Belo Horizonte: Publicação independente. ISBN: 9788592175702 (ebook). Available at: <https://marcomellolab.wordpress.com/software/>.
- DE MIRANDA, Luiz Bruner. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários Vol. 42**. Edusp, 2002.
- MIRANDA, Adélia A.; ALMEIDA, Ana CS; VIEIRA, Leandro M. Non-native marine bryozoans (Bryozoa: Gymnolaemata) in Brazilian waters: Assessment, dispersal and impacts. **Marine Pollution Bulletin**, v. 130, p. 184-191, 2018.
- MUYLAERT, Koenraad; SABBE, Koen; VYVERMAN, Wim. Changes in phytoplankton diversity and community composition along the salinity gradient of the Schelde estuary (Belgium/The Netherlands). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 82, n. 2, p. 335-340, 2009.
- CAMPOS NETO, Carlos. Portos Brasileiros: Área de Influência, Ranking Porte e os Principais Produtos Movimentados. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA**, 2006.
- NEVES, Carolina Somaio *et al.* Use of artificial substrata by introduced and cryptogenic marine species in Paranaguá Bay, southern Brazil. **Biofouling**, v. 23, n. 5, p. 319-330, 2007.
- NEVES, Carolina Somaio; ROCHA, Rosana Moreira da. Introduced and cryptogenic species and their management in Paranaguá Bay, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, p. 623-633, 2008.
- NEWMAN, Mark EJ. Modularity and community structure in networks. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 103, n. 23, p. 8577-8582, 2006.

OJAVEER, Henn; KOTTA, Jonne. Ecosystem impacts of the widespread non-indigenous species in the Baltic Sea: literature survey evidences major limitations in knowledge. **Hydrobiologia**, v. 750, p. 171-185, 2015.

OKSANEN, Jari. Vegan: community ecology package. R package version 1.8-5. <http://www.cran.r-project.org>, 2007.

PARK, Chan Sun; HWANG, Eun Kyoung. Seasonality of epiphytic development of the hydroid *Obelia geniculata* on cultivated *Saccharina japonica* (Laminariaceae, Phaeophyta) in Korea. **Journal of applied phycology**, v. 24, n. 3, p. 433-439, 2012.

PECH, D.; ARDISSON, P.-L.; BOURGET, E. Settlement of a tropical marine epibenthic assemblage on artificial panels: Influence of substratum heterogeneity and complexity scales. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 55, n. 5, p. 743-750, 2002.

PESTANA, Lueji Barros; DIAS, Gustavo Muniz; MARQUES, Antonio Carlos. A century of introductions by coastal sessile marine invertebrates in Angola, South East Atlantic Ocean. **Marine Pollution Bulletin**, v. 125, n. 1-2, p. 426-432, 2017.

RIBEIRO, Jose Pedro N. *et al.* Spatial distribution of *Crinum americanum* L. in tropical blind estuary: hydrologic, edaphic and biotic drivers. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 2, p. 287-291, 2011.

ROSA FILHO, José Souto *et al.* Macrofauna bentônica de zonas entre-marés não vegetadas do estuário do rio Caeté, Bragança, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 1, n. 3, p. 85-96, 2006.

ROSS, Andrew C. *et al.* Sea-level rise and other influences on decadal-scale salinity variability in a coastal plain estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 157, p. 79-92, 2015.

RUIZ, Gregory M. *et al.* Invasion of coastal marine communities in North America: apparent patterns, processes, and biases. **Annual review of ecology and systematics**, p. 481-531, 2000.

SANTOS, Julio Gustavo Augusto da Silva; LAMONICA, Maurício Nunes. Água de lastro e bioinvasão: introdução de espécies exóticas associada ao processo de mundialização. **Vértices**, v. 10, n. 1, p. 141-152, 2008

SCHROEDER, William W.; DINNEL, Scott P.; WISEMAN, William J. Salinity stratification in a river-dominated estuary. **Estuaries**, v. 13, n. 2, p. 145-154, 1990.

SILLIMAN, Brian R. *et al.* Whole-community facilitation regulates biodiversity on Patagonian rocky shores. **PLoS One**, v. 6, n. 10, p. e24502, 2011.

SOUZA, Rosa Cristina Corrêa Luz de; CALAZANS, Sálvio Henrique; SILVA, Edson Pereira. Impacto das espécies invasoras no ambiente aquático. **Ciência e cultura**, v. 61, n. 1, p. 35-41, 2009.

THIELTGES, David W.; BUSCHBAUM, Christian. Vicious circle in the intertidal: facilitation between barnacle epibionts, a shell boring polychaete and trematode parasites in the periwinkle *Littorina littorea*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 340, n. 1, p. 90-95, 2007.

THOMSEN, Mads S. *et al.* A sixth-level habitat cascade increases biodiversity in an intertidal estuary. **Ecology and evolution**, v. 6, n. 22, p. 8291-8303, 2016.

TURNER, S. J. *et al.* Changes in epifaunal assemblages in response to marina operations and boating activities. **Marine Environmental Research**, v. 43, n. 3, p. 181-199, 1997.

WAHL, Martin. Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. **Marine ecology progress series**, v. 58, p. 175-189, 1989.

WAHL, Martin (Ed.). **Marine hard bottom communities**. Berlin, Germany: Springer, 2009.

ZALMON, Ilana Rosental; KROHLING, Werther; FERREIRA, Carlos Eduardo Leite. Abundance and diversity patterns of the sessile macrobenthic community associated with environmental gradients in Vitória Harbor, southeastern Brazil. **Zoologia (Curitiba)**, v. 28, n. 5, p. 641-652, 2011.

YAKOVIS, Eugeniy; ARTEMIEVA, Anna. Cockles, barnacles and ascidians compose a subtidal facilitation cascade with multiple hierarchical levels of foundation species. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2017.

YAKOVIS, Eugeniy; ARTEMIEVA, Anna. Effects of a trophic cascade on a multi-level facilitation cascade. **Journal of Animal Ecology**, v. 90, n. 10, p. 2462-2470, 2021.

## 8. MATERIAL COMPLEMENTAR

### 8.1 Figuras

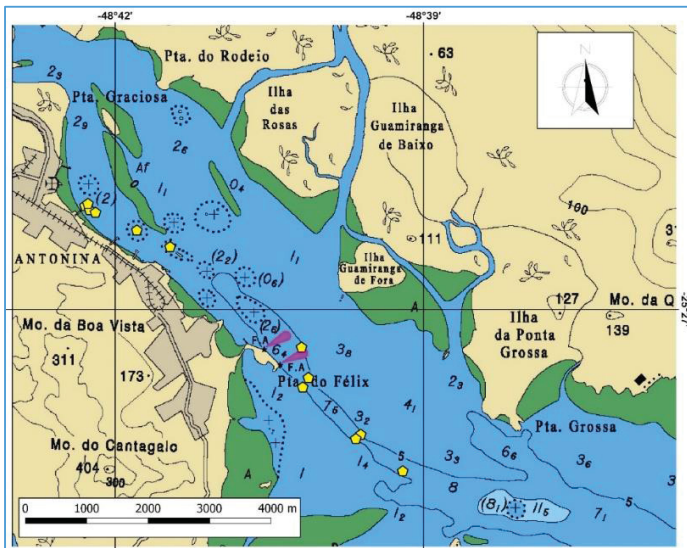


Figura 1: Mapa de uma parte do Complexo Estuarino de Paranaguá, onde podemos observar Antonina. Os pontos em amarelo mostram onde as placas foram submersas nesta região.

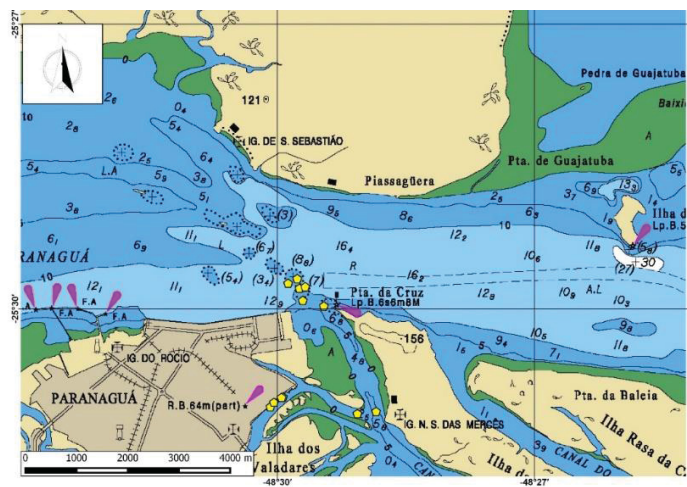


Figura 2: Mapa de uma parte do Complexo Estuarino de Paranaguá, onde podemos observar Paranaguá. Os pontos em amarelo mostram onde as placas foram submersas nesta região.

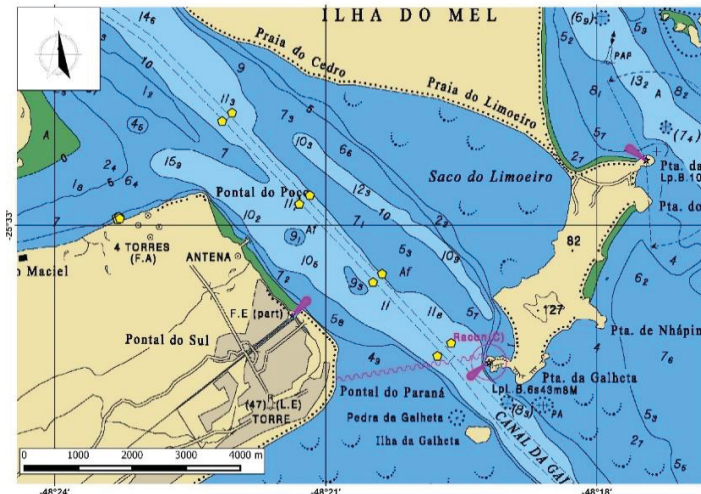


Figura 3: Mapa de uma parte do Complexo Estuarino de Paranaguá, onde podemos observar Pontal do Sul. Os pontos em amarelo mostram onde as placas foram submersas nesta região.

## 8.2 Tabelas

Tabela 1: Resultado da análise IndVal (espécies indicadoras) com as espécies que obtiveram valor significativo de p como espécie indicadora de cada local e estação no estrato 1. As espécies exóticas estão assinaladas com \*

Antonina/mesohalino inverno	Antonina/mesohalino verão	Paranaguá/polihalino inverno	Paranaguá/polihalino verão	Pontal/euhalino inverno	Pontal/euhalino verão
Clytia_linearis	Alga_morfotipo_5	Actinaria_sp	Alga_morfotipo_1	Alcyonidium_sp	Alga_morfotipo_5 *Amphibalanus_reticulatus
	Balanidae *Podocoryna_loyola	Alcyonidium_sp	Alga_morfotipo_2	Balanidae	Balanidae
		Alga_morfotipo_1	Alga_morfotipo_4 *Amphibalanus_reticulatus	Biflustra_sp	Balanidae
		Alga_morfotipo_2		Clytia_linearis	Bougavillidae Diadomeni_paranensis
		Alga_morfotipo_3	Balanidae	Ectopleura_crocea	Eudendrium_caneum
		Alga_morfotipo_4	*Diadomeni_lineata Eudendrium_caneum	Fistulobalanus_citerosum	*Megabalanus_cocciopoma
		Alga_morfotipo_5	Fistulobalanus_citerosum	*Megabalanus_cocciopoma	Fistulobalanus_citerosum
		Balanidae		Obelia_dichotoma	*Hippoporina_indica *Megabalanus_cocciopoma
		*Bugula_neritina Diadomeni_paranensis	*Hippoporina_indica	Ostreidae	
		Diplosoma_sp	Octocoral_1_sp1	Scrupocellaria_sp	Myidae
		Electridae	Ostreidae	*Sinoflustra_anna	Mytilidae
		*Hippoporina_indica	*Podocoryna_loyola		Ostreidae
		Mytilidae	Tubo_Amphipoda		
			Tubo_poliqueto		

Obelia\_bidentata  
 Obelia\_dichotoma  
 Ostreidae  
 Plumularia\_sp.  
 Tubo\_Amphipoda  
 Tubo\_poliqueto

Tabela 2: Resultado da análise IndVal (espécies indicadoras) com as espécies que obtiveram valor significativo de p como espécie indicadora de cada local e estação no estrato 2. As espécies exóticas estão assinaladas com \*

Antonina/mesohalino inverno	Antonina/mesohalino verão	Paranaguá/polihalino inverno	Paranaguá/polihalino verão	Pontal/euhalino inverno	Pontal/euhalino verão
Alcyonidium_sp	Amphibalanus_eburneus		Alga_morfotipo_3 Amphibalanus_eburneus	Alga_morfotipo_4	Alga_morfotipo_1
Alga_morfotipo_4	Eudendrium_caneum		Amphibalanus_improvisus *Calyptospadix_cerulea	*Bugula_neritina Diadomeni_paranaensis	Alga_morfotipo_2 Alga_morfotipo_4
Balanidae	Mytilidae			Electridae	Amanthia_sp
Biflustra_sp *Calyptospadix_cerulea Diadomeni_paranaensis	Tubo_poliqueto		Demospongiae Diadomeni_paranaensis	Hippopodina_sp *Hippoporina_indica	Biflustra_sp Botrylloides_sp
Hydractiniidae			Electridae	Myidae	*Bugula_neritina Cirrholovenia_tetramea
Myidae			Mytilidae	Mytilidae	*Diadomeni_lineata
Mytilidae			Obelia_bidentata	Schizoporella_sp	
Obelia_bidentata			Obelia_dichotoma	Tubo_Amphipoda	Electridae
Obelia_dichotoma			*Stragulum_bicolor	Tubo_poliqueto	Hippopodina_sp
*Podocoryna_loyola					Nellia_sp
Tubo_poliqueto					Obelia_dichotoma *Podocoryna_loyola Savignyella_sp Schizoporella_sp Scrupocellaria_sp *Sinoflustra_annae *Stragulum_bicolor Tubo_Amphipoda Tubo_poliqueto

Tabela 3: Resultado da análise IndVal (espécies indicadoras) com as espécies que obtiveram valor significativo de p como espécie indicadora de cada local e estação no estrato 3. As espécies exóticas estão assinaladas com \*

<b>Antonina/mesohalino inverno</b>	<b>Antonina/mesohalino verão</b>	<b>Paranaguá/polihali no inverno</b>	<b>Paranaguá/polihali no verão</b>	<b>Pontal/euhali no inverno</b>	<b>Pontal/euhali no verão</b>
Amanthia_sp	Alcyonidium_sp		Alga_morfotipo_5		
Cirrhlovenia_tetranema	Alga_morfotipo_4				
Tubo_Amphipoda	*Calyptospadix_cerulea				
	Clytia_linearis				
	Electridae				
	Fistulobalanus_citerosum				
	Obelia_bidentata				
	Obelia_dichotoma				