



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA
BIOLÓGICA



**A Influência de Sistemas Frontais sobre as Assembleias
Bentônicas de Pradarias de Fanerógamas Submersas
Estuarinas**

DAIRANA MISTURINI

Orientador: Prof. Dr. Leonir André Colling

RIO GRANDE
Fevereiro de 2021

DAIRANA MISTURINI

**A Influência de Sistemas Frontais sobre as Assembleias
Bentônicas de Pradarias de Fanerógamas Submersas
Estuarinas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE.

Orientador: Prof. Dr. Leonir André Colling

RIO GRANDE
Fevereiro de 2021

Ficha Catalográfica

M678i Misturini, Dairana.

A influência de sistemas frontais sobre as assembleias bentônicas de pradarias de fanerógamas submersas estuarinas / Dairana Misturini. – 2021.

74 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica, Rio Grande/RS, 2021.

Orientador: Dr. Leonir André Colling.

1. Estuários 2. Ventos 3. Macrozoobentos 4. Vegetação Aquática Submersa I. Colling, Leonir André II. Título.

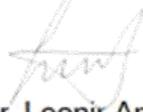
CDU 551.461.6

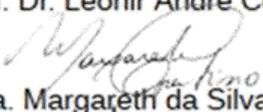
Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

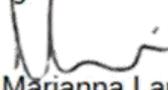


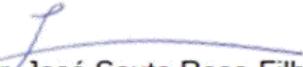
ATA 02/2021 - DEFESA DE DISSERTAÇÃO - Oceanog. Dairana Misturini

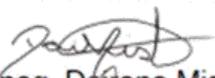
Às dezesseis horas do dia vinte e cinco de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um, na Sala virtual Link Plataforma Zoom:
<https://us02web.zoom.us/j/85420055099pwd=SEJpSWJ3NGYvdG9ZL2s2Z09QS3Rmdz09> - reuniu-se a Comissão Examinadora de Dissertação da Oceanog. Dairana Misturini, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Leonir André Colling (Orientador) - Instituto de Oceanografia - FURG; Profa. Dra. Margareth da Silva Copertino, Instituto de Oceanografia - FURG; Dra. Marianna Lanari, Instituto de Oceanografia - FURG; Prof. Dr. José Souto Rosa-Filho, Departamento de Oceanografia - UFPE. Título da Dissertação: "Influência de Sistemas Frontais sobre as Assembleias Bentônicas de Pradarias de Fanerógamas Submersas Estuarinas". Dando início à reunião, o Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica – Prof. Dr. Luciano Dalla Rosa- agradeceu a presença de todos e fez a apresentação da Comissão Examinadora. Logo após, explicou que a candidata teria um tempo de 45 a 60 min. para explanação do tema, e cada membro da Comissão, um máximo de 30 min. para perguntas. Dando prosseguimento, passou a palavra à candidata que apresentou o tema e respondeu às perguntas formuladas. Após explanação, a Comissão aprovou o que segue: As sugestões de todos os membros da Comissão Examinadora, que seguem em pareceres em anexo, foram aceitas pelo orientador/candidata para incorporação na versão final. Foi atribuída a seguinte classificação à candidata: Profa. Dra. Margareth da Silva Copertino - Classificação: Aprovada; Dra. Marianna Lanari - Classificação: Aprovada; Prof. Dr. José Souto Rosa-Filho - Classificação: Aprovada. A candidata foi considerada APROVADA por UNANIMIDADE. Nada mais havendo a tratar, lavro a presente ata que após lida e Aprovada, será assinada pela Comissão Examinadora, pela aluna e pelo Coordenador do PPGOB.


Prof. Dr. Leonir André Colling


Profa. Dra. Margareth da Silva Copertino


Dra. Marianna Lanari


Prof. Dr. José Souto Rosa-Filho


Oceanog. Dairana Misturini

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG


Prof. Dr. Luciano Dalla Rosa
Coordenador do PPG em Oceanografia Biológica

*Aos meus pais Dair e Ana, vó Zulmira e
dinda Cassi.*

***“Nós temos a petulância de nos achar maior
que a natureza quando nós somos
completamente dependentes dela”***

Lawrence Wahba.

AGRADECIMENTOS

Gratidão, substantivo feminino, com função de demonstrar reconhecimento. Ato de respeito e educação. Um tributo à justiça. Uma virtude. Sentimento de almas nobres. Assim, inicio os agradecimentos aos que viabilizaram e participaram desta pesquisa.

Agradeço ao CNPq pela concessão da bolsa, incentivo à pesquisa e desenvolvimento de conhecimento.

À PPGOB e à FURG pela estrutura, viaturas, embarcação, laboratórios, oportunidade da realização do mestrado, aprimoramento de conhecimentos e extensão.

Ao PELD pela estrutura e apoio logístico.

Ao Professor Dr. Leonir André Colling pela orientação e ao Nicolas Weissheimer pelas triagens e participação em campos.

Ao Professor Dr. Maurício Camargo pelos *insights* estatísticos.

Ao Professor Dr. Luciano Garcia e equipe do Laboratório de Aquacultura Continental – LAC/FURG por ceder as instalações para saídas de campo.

À meteorologista da FURG Eliana Klering pelas previsões meteorológicas.

À Professora Dra. Margareth Copertino, Pós-doc Marianna Lanari e Doutoranda Vanessa Corrêa, do Laboratório de Ecologia Vegetal Costeira – ECOVECO/FURG, pela paciência, apresentação das pradarias e suas espécies, ajuda na realização e execução do projeto, troca de conhecimentos, conversas, estímulo, pelo empréstimo da balança e outros materiais.

Ao Seu Giovani Martins, meu braço direito, parceiro em campo, capitão do Bote Morales e amigo. Sem ele a realização dos campos jamais seria possível e agradável.

Aos motoristas das viaturas que nos ajudaram no transporte para as saídas.

Os meus dias na FURG seriam mais tristes sem o “Bom dia!” e abraço fraterno da Dona Fátima, os papos cabeça, conselhos e carinho do Seu Votto e da Vera. Gratidão por tudo!

Agradeço aos meus professores da UFSC pelo exemplo, apoio, incentivo.

Ao meu amigo e grande profissional, Sebastião Dutra, Técnico do Núcleo de Estudos do Mar – NEMAR/UFSC, que fez toda análise sedimentar deste estudo. Gratidão pelos conhecimentos, conselhos, apoio e pelos “levanta a cabeça que tu és forte, menina”...

Às colegas do NEMAR Kalina e Carol que apoiaram a identificação dos OBNIS (Organismos Bentônicos Não Identificados), Thais, Mari Paz e Oortman, Montanha, Tita, Ricardos Franco e Scherer, Gisela, Manso, Simonassi, Soriano, Paulinho e Alessandra pelos ensinamentos quando IC e força para continuar.

GRATIDÃO à Prof. Dra Bárbara Segal por abrir seu laboratório, pelo exemplo humano, profissional e palavras de apoio “Tudo são etapas e ciclos que começam e se fecham, infinitamente!”.

Aos amigos VL Giulianne, Hiroshi, Miguel, Máira, Renan, Vanessa, Alex, Gabi, Giovanni e em especial à Thais pelos *brainstorming* e resiliência. Orgulho de vocês!

Aos amigos/anjos Déa, Gabris, Dani e Cris, agradeço pelo apoio, amizade, momentos Zen, parceria para tudo, até para cair nas águas geladas da Lagoa dos Patos.

À vizinha, parceira de indiadas/campos/Sushis e amiga, que me abrigou em seu AP, foi apoio e estímulo, Jéssica. E à Márcia, grande exemplo de lutas e conquistas.

À Ana Mai, pelo apoio, PACIÊNCIA, parceria, por dividir o carinho da Cusca e da Calabresa, pelas experiências e conhecimentos, por me abrigar na sua casa e na Ictio. Garotinha, uma vez alguém me disse que o Elefante não é o rei da Savana, pois subestima seu tamanho. Você é gigante!

Agradeço, carinhosamente, à minha Psiquiatra Dra. Hortência, que me atendeu de forma solícita, observou as nuances e necessidades das dores que trazia durante as intensas crises de ansiedade. Uma grande pessoa, mulher, profissional. GRATIDÃO!

Aos meus pais, Dair e Ana, e vó Zuzu, meu alicerce e exemplo. Quem me levantou, limpou minhas lágrimas, me estimulou, apoiou minhas escolhas e manteve minha cabeça no lugar. A minha melhor torcida! Minha força para viver...

À minha madrinha Cassiana, exemplo de pesquisadora, geóloga, mulher. Grata por abrir as portas do seu laboratório, pelas explicações geológicas e pelas sugestões neste estudo. Obrigada por não me deixar desistir!

Agradeço à Banca Prof. Dr. José Souto Rosa-Filho (UFPE), Profa. Dra. Margareth Copertino (IO-FURG), Profa. Dra. Marianna Lanari (IO-FURG) por terem aceito o convite para participação e contribuição nessa pesquisa.

Diz Sponville “Agradecer é dividir essa felicidade que é nossa”. Por isso finalizo agradecendo à Deus, à Espiritualidade Superior e aos Organismos que perderam suas vidas para possibilitar a pesquisa e peço desculpas se não houver correspondido às expectativas.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	4
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	4
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
2.1 Área de estudo	5
2.1.1 <i>Delineamento amostral</i>	7
2.2 Variáveis ambientais	8
2.3 Sistemas frontais e meteorologia.....	8
2.4 Sedimentologia	9
2.5 Vegetação	9
2.6 Macrozoobentos	10
2.7 Análise de dados	11
2.7.1 <i>Análises univariadas</i>	11
2.7.2 <i>Análises multivariadas</i>	12
3. RESULTADOS.....	13
3.1 Caracterização ambiental e climatologia.....	13
3.2 Sedimentologia	18
3.2.1 <i>Matéria orgânica</i>	18
3.2.2 <i>Granulometria</i>	18
3.3 Vegetação aquática submersa	19
3.4 Macrozoobentos	23
4. DISCUSSÃO	37
4.1 Os ambientes ao longo do ano	37
4.2 Os eventos de curto prazo.....	41
5. CONCLUSÕES.....	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
APÊNDICE A –TABELAS DE SIGNIFICÂNCIA	68
APÊNDICE B – RESUMOS GRÁFICOS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudo no Saco do Justino, Estuário da Lagoa dos Patos - Rio Grande do Sul, com destaque para a pista de vento e plano amostral.	7
Figura 2. Vazão média dos tributários da Lagoa dos Patos em 2019.	13
Figura 3. Salinidade e temperatura médias mensais da coluna d'água em 2019.	14
Figura 4. Rosa dos ventos para direção, classes de velocidade e frequência dos ventos do EV1.	14
Figura 5. Rosa dos ventos para direção, classes de velocidade e frequência dos ventos do EV2.	16
Figura 6. Rosa dos ventos para direção, classes de velocidade e frequência dos ventos do EV3.	17
Figura 7. Rosa dos ventos para direção, classes de velocidade e frequência dos ventos do EV4.	17
Figura 8. Porcentagem média de matéria orgânica (\pm EP) presente nos sedimentos dos ambientes estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais.	18
Figura 9. Porcentagem de Cobertura Vegetal média (\pm EP) dos ambientes estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais.	20
Figura 10. Altura média do dossel (\pm EP) dos ambientes estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais.	21
Figura 11. Biomassa aérea e subterrânea médias de <i>R. maritima</i> e <i>Z. palustris</i> (\pm EP) dos ambientes estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais.	22
Figura 12. Biomassa aérea e subterrânea médias de <i>P. striatus</i> (\pm EP) dos ambientes estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais.	22
Figura 13. Matriz de abundância média dos taxa de organismos infaunais e epifaunais coletado nos diferentes períodos dos eventos e ambientes.	24
Figura 14. Densidade média (\pm EP) de organismos infaunais e epifaunais dos ambientes estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais.	26
Figura 15. Diversidade média (\pm EP) de organismos infaunais e epifaunais dos ambientes estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais.	27
Figura 16. Equitatividade média (\pm EP) de organismos infaunais e epifaunais dos ambientes estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais.	28

Figura 17. Escalonamento multidimensional das assembleias macrozoobentônicas dos ambientes estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais.	29
Figura 18. Análise de Correspondência Canônica para o evento um em Plano Vegetado e Plano Lamoso, Antes e Depois da passagem do sistema frontal para a epifauna e infauna	30
Figura 19. Análise de Correspondência Canônica para o evento dois em Plano Vegetado e Plano Lamoso, Antes e Depois da passagem do sistema frontal para a epifauna e infauna.....	32
Figura 20. Análise de Correspondência Canônica para o evento três em Plano Vegetado e Plano Lamoso, Antes e Depois da passagem do sistema frontal para a epifauna e infauna.	34
Figura 21. Análise de Correspondência Canônica para o evento quatro em Plano Vegetado e Plano Lamoso, Antes e Depois da passagem do sistema frontal para a epifauna e infauna.....	36
Figura 22. Resumo gráfico do evento um.....	71
Figura 23. Resumo gráfico do evento dois.....	72
Figura 24. Resumo gráfico do evento três.....	73
Figura 25. Resumo gráfico do evento quatro.....	74

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Variáveis ambientais aferidas em campo nos ambientes estabelecidos segundo as coordenadas geográficas nos períodos da passagem dos sistemas frontais. 15
- Tabela 2.** Análise de tamanho médio do grão, por Folk & Ward (1957), classificação textural e distribuição dos sedimentos inconsolidados estudados nos períodos da passagem dos sistemas frontais..... 19
- Tabela 3.** Teste T de Student para comparação das diferenças ocorridas entre os períodos (A, D) dos quatro eventos e três ambientes estudados, para os descritores da assembleia macrozoobentônica, da vegetação e da constituição sedimentar. 68
- Tabela 4.** Teste de Transformação de Postos para análise da variância entre ambientes, eventos e períodos para os descritores da assembleia macrozoobentônica, da vegetação e da constituição sedimentar. 68
- Tabela 5.** Análise de Similaridade Multivariada (ANOSIM) das assembleias macrozoobentônicas, em cada evento entre ambientes (PV e PL), e entre períodos para cada ambiente (APL x DPL; APV x DPV)..... 69

LISTA DE ABREVIATURAS

A: antes do sistema frontal;
ANOSIM: análise de similaridade multivariada;
ANOVA: análise de variância;
B: borda da pradaria;
BPA: biomassa aérea de *Potamogeton striatus*;
BPS: biomassa subterrânea de *P. striatus*;
BRA: biomassa aérea de *Ruppia maritima*/ *Zannichellia palustris*;
BRS: biomassa subterrânea de *R. maritima*/ *Z. palustris*;
BTA: biomassa vegetal total aérea;
BTS: biomassa vegetal total subterrânea;
CCA: análise de correspondência canônica;
COV: porcentagem de cobertura vegetal;
D: depois do sistema frontal;
DIR: moda da direção dos ventos;
ELP: Estuário da Lagoa dos Patos;
EV1(2, 3, 4): evento meteorológico um (dois, três, quatro);
H: índice de Diversidade de Shannon-Wiener;
HI: altura do dossel;
J: índice de Equitatividade de Pielou;
M. G. S.: tamanho médio do grão;
nMDS: escalonamento multidimensional não métrico;
MO: matéria orgânica;
P: profundidade da coluna d'água;
PELD: Pesquisa Ecológica de Longa Duração no Estuário da Lagoa dos Patos e Costa Marinha Adjacente;
PL: plano lamoso;
PV: plano vegetado;
S: salinidade;
SEL: seleção do grão;
SF: sistema (s) frontal (s);
T: temperatura;
WIN: velocidade média dos ventos.

RESUMO

As pradarias de angiospermas marinhas são habitats com função estruturadora e estabilizadora de substratos estuarinos, que possuem fortes interações ecológicas com os invertebrados bentônicos. Distúrbios causados por eventos meteorológicos, como os sistemas frontais, que geram elevada pluviosidade, ventos intensos e perturbação do substrato, podem resultar em flutuações de densidade e diversidade do bentos. Diante disso, objetivou-se investigar os efeitos dos sistemas frontais sobre a infauna e epifauna bentônica abrigada e não abrigada por pradarias. Foram realizadas amostragens no Saco do Justino, Estuário da Lagoa dos Patos, imediatamente Antes e Depois da passagem de quatro sistemas frontais (março, maio, agosto e novembro de 2019) em três ambientes: Plano Vegetado, Borda e Plano Lamoso. Em cada ambiente e amostragem foram medidas salinidade e temperatura da água; determinadas a biomassa vegetal (core 0,008 m²), altura do dossel e porcentagem de cobertura vegetal (quadrado 1 m²); e coletadas amostras da macrofauna bentônica (core 0,008 m²), sedimentos para granulometria e análise de matéria orgânica (core 0,002 m²). Dados meteorológicos, de vazão, temperatura d'água e salinidade foram obtidos em bancos de dados. A pradaria foi multiespecífica na primavera, verão e outono (*Potamogeton striatus*, *Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris*), com maior biomassa no verão e menor no inverno. Ao longo das amostragens foram coletados 13.828 organismos bentônicos. Plano Lamoso e Plano Vegetado tiveram assembleias bentônicas distintas. Durante o evento um o macrozoobentos e os sedimentos não foram afetados significativamente pelo sistema frontal, provavelmente em virtude da maior complexidade estrutural. No evento dois houve redução da biomassa e cobertura vegetal, piora na seleção dos sedimentos na Borda e Plano Lamoso e aumento da matéria orgânica, levando ao aumento da densidade e diversidade da infauna no Plano Lamoso e Plano Vegetado, e queda da diversidade da epifauna no Plano Vegetado. No evento três houve a maior densidade bentônica e a menor biomassa da pradaria, o que pode ter influenciado na redução da densidade da infauna e epifauna, em todos os ambientes, Depois da passagem do sistema frontal. No evento quatro os sistemas frontais, em um cenário de maior profundidade da coluna d'água e alta vazão, podem ter ocasionado o aumento da densidade e diversidade da infauna. A passagem dos sistemas frontais podem afetar positiva (com aumentos) ou negativamente (com reduções) a densidade, diversidade e equitatividade das assembleias epifaunais e infaunais, porém quanto maior a complexidade estrutural das pradarias, maior é seu papel atenuador de eventos meteorológicos.

Palavras-chave: Estuários, Ventos, Macrozoobentos, Vegetação Aquática Submersa.

ABSTRACT

The marine angiosperms meadows are habitats with a structuring and stabilizing role in estuarine substrates, which have strong ecological interactions with the benthic invertebrates. Disturbances caused by meteorological events, such as occluded fronts, which generate high rainfall, intense winds and soft bottom disturbance, can result in fluctuations in benthos density and diversity. Therefore, the aim of this research was to investigate the effects of occluded fronts on the sheltered and non-sheltered infauna and epifauna. Sampling was carried out at Saco do Justino, Patos Lagoon Estuary, immediately before and after the passage of four occluded fronts (March, May, August and November 2019) in three environments: Seagrass Meadow, Edge and Sandflat. In each environment and sampling, salinity and water temperature were measured; we determined plant biomass (core 0.008 m²), canopy height and percentage of plant coverage (square 1 m²); samples of the benthic macrofauna (core 0.008 m²), sediments for granulometry and analysis of organic matter (core 0.002 m²) were collected. Meteorological data, flow, water temperature and salinity were obtained from databases. The seagrass meadow was multispecific in spring, summer and autumn (*Potamogeton striatus*, *Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris*), with higher biomass in summer and lower in winter. During the sampling 13.828 macrozoobenthic organisms were taken. Sandflats benthic assemblage was distinct from the Seagrass Meadow. During the event one macrozoobenthic and sediments were not significantly affected by the occluded front, probably due to the greater structural complexity. In event two, there was a reduction in biomass and vegetal coverage, a worsening of sediment sorting in Edge and Sandflat and an increase in organic matter, leading to an increase in infauna density and diversity in Sandflat and Seagrass Meadow and a decrease in epifauna diversity in Seagrass Meadow. In event three, there was the highest benthic density and the lowest biomass of the seagrass, which may have influenced the reduction of infauna and epifauna densities, in all environments, after occluded front passage. In event four, the occluded fronts, in a scenario of greater water column depth and high river flow, may have resulted in an increase in infauna density and diversity. The passage of occluded fronts can affect positively (with increases) or negatively (with decreases) the epifaunal and infaunal assemblies density, diversity and evenness, however the greater structural complexity of seagrasses, shows their damping role by meteorological events.

Keywords: *Estuaries, Winds, Macrozoobenthos, Submerged Aquatic Vegetation.*

1. INTRODUÇÃO

Os estuários são ecossistemas costeiros que abrigam aproximadamente 60% das grandes cidades do mundo (Miranda et al. 2002) e estão entre as áreas biologicamente mais produtivas da Terra (Nixon et al. 1986). O sistema estuarino é um corpo de água costeiro conectado ao mar, com variações abruptas de salinidade e biota adaptada a estas condições (Whitfield & Elliott 2011). Os habitats que o compõem são ecótonos que abrangem uma grande variedade de feições como os planos areno-lamosos e as pradarias submersas, distribuídos desde as zonas tropicais às temperadas (McKenzie et al. 2020). Nos ecossistemas costeiros, os ventos têm importante papel ecológico na regulação dos processos sedimentares e hidrodinâmicos (Cazzoli y Goya & Tessler 2000), levando a diferentes respostas da fauna e flora residentes (Houser & Greenwood 2007). A zona rasa estuarina, neste contexto, tem sua dinâmica influenciada por eventos meteorológicos de curto prazo, através de variações da maré e aumento das ondulações (de Jonge & van Beusekom 1995, Geyer 1997) que resultam em aumento da turbidez da água, erosão, ressuspensão e carreamento de sedimentos (Shi et al. 2017).

Algumas características dos planos rasos estuarinos, como a profundidade da zona fótica, favorecem a formação de planos vegetados por angiospermas (ou fanerógamas) marinhas (Copertino & Seeliger 2010). As pradarias desempenham papel de engenheiras ecossistêmicas e espécies pioneiras (van der Heide et al. 2012), estruturando o habitat (Desrosiers et al. 2013) e gerando altas taxas de produtividade primária (Murray et al. 2011). Além disso, prestam importantes serviços ecossistêmicos como sequestro de carbono (Duarte et al. 2008, Murray et al. 2011), base de cadeias alimentares (Hemminga & Duarte 2000), proteção das margens costeiras (Cullen-Unsworth & Unsworth 2013) e beleza cênica. Os fundos vegetados, apesar de sofrerem impactos físicos de eventos meteorológicos como arrancamento e desfolhação (Carlson et al. 2010), atuam como amortizadores da hidrodinâmica (Ward et al. 1984), permitindo o abrigo e alterando padrões de transporte e dispersão (Turner et al. 1997). Porém, as pradarias vêm perdendo cerca de 2% de cobertura ao ano (Waycott et al. 2009, Murray et al. 2011) causada por desastres naturais e pressões antrópicas (Waycott et al. 2009).

Nos estuários, o aumento da complexidade estrutural pelas fanerógamas marinhas gera o aumento da abundância e diversidade de espécies da fauna (Heck et al. 1995, Boström & Bonsdorff 1997, Bowden et al. 2001). A diversidade e abundância dos macroinvertebrados bentônicos relaciona-se diretamente à heterogeneidade dos substratos aos quais vivem associados (Wilson & Fleeger 2012). Esses são organismos retidos em malha de 0,3 mm, que quando recrutam sobre os substratos são denominados epifaunais, e ao viver entre grãos são considerados infaunais (Wilson & Fleeger 2012). Os organismos macrozoobênticos têm significativo papel como depositívoros, consumidores primários e secundários (Lobry et al. 2008), dispersores de pólen para as fanerógamas marinhas (van Tussenbroek et al. 2012, 2016) e base da cadeia alimentar de muitos recursos pesqueiros (Silveira et al. 2020). A composição, morfologia, biomassa e espaçamento das pradarias são fatores estruturadores das comunidades macrozoobentônicas associadas (Eckman 1983, Orth et al. 1984, Ávila et al. 2015), pois geram áreas de recrutamento, forrageio (Heck et al. 1995, Boström & Bonsdorff 1997), reprodução (Heck et al. 1995, Edgar & Barrett 2002) e proteção contra predadores (Boström et al. 2006). O zoobentos e as fanerógamas marinhas participam da mesma ciclagem local de nutrientes e fluxo de energia, desempenhando efeitos *top-down*, devido à pastagem do zoobentos sobre as macrófitas marinhas, e *bottom-up*, pela criação de habitat das fanerógamas marinhas para o zoobentos (Cheng et al. 2017).

Os organismos bentônicos possuem hábitos e ciclos de vida bem conhecidos, baixa mobilidade e estreita relação com os substratos, sendo considerados bons indicadores de qualidade ambiental (Grall & Glémarec 1997). Estes respondem aos distúrbios naturais e antrópicos com episódios de mortalidade massiva ou deslocamento (Underwood & Chapman 1996). Neste contexto, os sistemas frontais (SF) são fenômenos atmosféricos de curto-prazo, que se encontram em áreas de ciclogênese ativa, formados por uma frente fria e uma frente quente, intercaladas por um centro de baixa pressão (Schultz et al. 1998), que geram fortes gradientes de temperatura, aumento da precipitação e intensidade dos ventos (Carlson 1991). Os impactos gerados por esses eventos meteorológicos frequentes e de curto prazo para o bentos são soterramento (Miller & Sternberg 1988), deslocamento de organismos (Dobbs & Vozarik 1983), redução da salinidade e oxigênio dissolvido (Posey et al. 1996) e aumento da turbidez (Rakocinski et al. 2000). A magnitude das respostas positivas (transporte/assentamento) ou negativas

(mortalidade) da macrofauna decorrem em efeitos de longo prazo (Fulweiler & Nixon 2009, Bernardino et al. 2015, Bonifácio et al. 2018), ou médio e curto prazo (Engle et al. 1999, Bernardino et al. 2015).

Nas últimas décadas os efeitos catastróficos de eventos meteorológicos como ciclones e tempestades, nos ecossistemas costeiros, vêm se intensificando (Pruitt et al. 2019) em virtude das mudanças climáticas globais (Collins et al. 2019). Porém, são poucos os estudos que abordam os efeitos da intensidade dos ventos nas estruturas das assembleias macrobentônicas de fundos vegetados estuarinos (Eckman 1983, Turner et al. 1999, Schanz et al. 2002). Em geral, é abordada a interação entre as plantas e o macrozoobentos (Heck et al. 1995, Boström & Bonsdorff 1997, Bostrom & Bonsdorff 2000) ou as alterações causadas por eventos de curto prazo no macrozoobentos (Boesch et al. 1976, Engle et al. 2009, Negrello-Filho & Lana 2013). Dentre os estudos para o Sul do Brasil, Negrello-Filho & Lana (2013), abordam diretamente o efeito de eventos de curto prazo em comunidades macrobentônicas estuarinas de planos areno-lamosos, porém não observaram padrões claros dos efeitos dos eventos meteorológicos nos descritores ecológicos e especularam consequências na dispersão dos organismos.

A macrofauna bentônica do Estuário da Lagoa dos Patos (ELP), no extremo Sul do Brasil, vem sendo estudada desde a década de 70 e monitorada desde 1998 pelo projeto Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Estuário da Lagoa dos Patos e Costa Marinha Adjacente (PELD – ELPA). Ao longo dos anos foi possível avaliar a influência das variações sazonais com maiores recrutamentos no verão e queda nos meses de inverno (Rosa & Bemvenuti 2006, Bemvenuti & Colling 2010b), o efeito do El Niño Oscilação Sul (ENSO) gerando cenários oligohalinos a límnicos durante períodos prolongados, os quais afetam negativamente o recrutamento do macrozoobentos (Colling 2011). Além disso, há lacunas de conhecimentos referentes à importância dos habitats de pradarias submersas na manutenção da abundância e diversidade da macrofauna pós eventos de mortalidade.

Frente ao exposto, espera-se que (1) o interior das pradarias atue como armadilha sedimentar, possuindo maiores teores de matéria orgânica, predomínio de sedimentos finos e pior seleção, (2) que haja maior abundância e diversidade do macrozoobentos nos fundos vegetados em relação aos planos lamosos adjacentes, (3)

que a assembleia do bentos em fundos vegetados seja menos afetada pelas mudanças abruptas de direção e intensidade dos ventos, causadas pela passagem de sistemas frontais e (4) que as assembleias epifaunais apresentem maior variabilidade na densidade e diversidade do que a infauna em resposta à passagem dos sistemas frontais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as possíveis relações entre os efeitos de eventos atmosféricos de curta duração (sistemas frontais) sobre a macroinfauna e macroepifauna bentônica abrigada e não abrigada por planos vegetados, no Estuário da Lagoa dos Patos, através da sua estrutura, densidade e diversidade.

1.1.2 Objetivos específicos

- Descrever os cenários estuarinos através da salinidade, vazão e temperatura das águas do ELP, e a passagem dos SF através dos dados de pluviosidade, direção e velocidade dos ventos no período;
- Caracterizar a variação da granulometria e percentuais de matéria orgânica em Plano Vegetado, Borda e Plano Lamoso, Antes e Depois da passagem de sistemas frontais;
- Correlacionar a estrutura, densidade e diversidade da macroinfauna e macroepifauna bentônica com as distintas características estruturais da vegetação aquática submersa;
- Avaliar o efeito da atuação dos sistemas frontais sobre as características estruturais da vegetação e dinâmica da macroinfauna e macroepifauna nos distintos habitats (Plano Vegetado, Borda e Plano Lamoso) observando as interações.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Lagoa dos Patos (Figura 1a, b) é a maior laguna costeira da América do Sul e uma das maiores do mundo, com cerca de 11.000 km² (Kjerfve 1986), separada do Oceano Atlântico por campos de dunas. Localizada no extremo Sul do Brasil, sobre a Bacia Sedimentar de Pelotas, é resultado de sucessivos processos regressivos e transgressivos do oceano, o que resultou em uma zona estuarina de aproximadamente 1000 km², ligada ao Oceano Atlântico por um único canal (Villwock 1984, Calliari et al. 2010). A batimetria do Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) é suave com extensos bancos e esporões arenosos onde predominam planos rasos (~170 km²) com menos de um metro de profundidade (Villwock 1984, Calliari et al. 2010). A granulometria das áreas mais profundas é composta por silte e argilas (Toldo et al. 2006), enquanto que nas enseadas rasas predominam as areias finas, depositadas e remobilizadas pela ação dos ventos (Antiqueira & Calliari 2005).

A latitude do ELP (entre 31° e 32° S) corresponde à região de clima subtropical úmido (Cfa) (Köppen 1923), com temperaturas mais elevadas no verão e menores no inverno (Reboita & Kruche 2018), meses chuvosos de abril a novembro (Velasco & Fritsch 1987) e influência da maritimidade (Kuinchner & Buriol 2001). O clima possui interferência da passagem de massas de ar frio (Reboita et al. 2006) e a migração latitudinal do centro de alta pressão, permanentemente situado sobre o Atlântico Sul (Reboita & Kruche 2018). Observam-se repentinas mudanças de temperatura, precipitação e intensificação de ventos associados aos sistemas frontais (SF) e massas frias (Britto & Saraiva 2001, Reboita et al. 2006). Os SF são mais frequentes ao longo do inverno (~ 6 dias) e provocam o aumento da periodicidade de ventos do quadrante Sul (Stech & Lorenzetti 1992).

A hidrodinâmica do ELP é muito dependente da ação dos ventos locais e remotos (que geram marés meteorológicas) e da descarga fluvial (Villwock 1984, Moller Jr et al. 1996, Moller et al. 2001). O aporte de água doce provém de três tributários principais, os Rios Guaíba e Camaquã com vazão média de 1.770 m³s⁻¹ e o canal São Gonçalo com fluxo médio de 700 m³s⁻¹, resultando em uma contribuição

média mensal de $2.400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, com variações geradas por *El Niño* e *La Niña* (Vaz et al. 2006). A salinidade varia entre 0 a 35, de acordo com a intrusão da cunha salina impulsionada pelos ventos de Sul e a vazão fluvial (Fernandes et al. 2005). A temperatura da água varia entre $27 \text{ }^\circ\text{C}$ e $10 \text{ }^\circ\text{C}$, sazonalmente (Kantin & Baumgarten 1982).

Dentre as áreas rasas encontra-se, a noroeste da cidade do Rio Grande, o Saco do Justino (Fig. 1c). Uma enseada semifechada, classificada pela portaria 07/95, FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler, com base na resolução CONAMA 357/05, como um curso de água salobra Classe A, destinado somente à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas. Nesta área a ação local dos ventos do quadrante Sul, com a maior pista calculada a cada $22,5^\circ$ (*wave fetch* $\bar{x} = 821,9 \text{ m}$; Fig. 1c) é a principal forçante da hidrodinâmica (Moller et al. 2001), gerando variações nas características físico-químicas da coluna d'água (Baumgarten et al. 2005) e sedimentos (Oliveira 2015). Devido ao *input* de água doce dos arroios, a salinidade varia entre 0 a 20 (Baumgarten & Niencheski 2010).

O Saco do Justino é um local abrigado com baixa profundidade e sedimentos propícios a gerar a relativa perenidade da vegetação aquática submersa (Copertino & Seeliger 2010). Esta é composta por espécies estuarinas (*Ruppia maritima* Linnaeus, 1753), límnicas (*Potamogeton striatus* Ruiz & Pavon, 1892) e oligohalinas (*Zannichellia palustris* Les, 1988) que se distribuem ao longo do estuário de acordo com o gradiente de salinidade e exposição à hidrodinâmica (Copertino & Seeliger 2010). As características morfológicas das pradarias como densidade, altura e espaçamento, estão intimamente relacionadas às variações sazonais, como temperatura e vazão, as quais determinam períodos de brotamento, crescimento vegetativo e, conseqüentemente, a existência do prado (Copertino & Seeliger 2010). Pelas características da vegetação aquática submersa esta área foi escolhida para as amostragens.

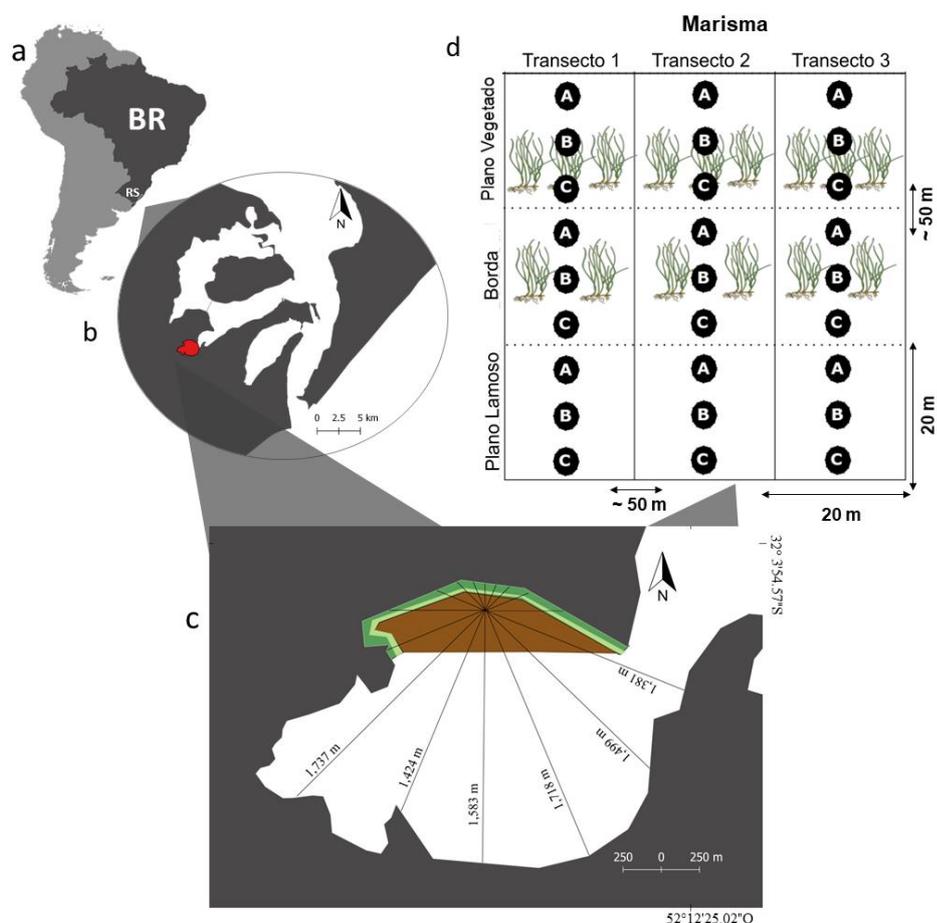


Figura 1. Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) (b), em Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil (a). Destaque para os ambientes amostrados no Plano Vegetado, Borda e Plano Lamoso, a pista de vento (*fetch*) que atua na Enseada do Saco do Justino (c). O plano amostral (d) utilizado para a análise do efeito dos sistemas frontais sobre a macrofauna e a vegetação aquática submersa, teve três transectos perpendiculares à borda de marisma delimitados, distanciados em 50 m, em cada ambiente, onde foram coletadas amostras replicadas (letras).

2.1.1 Delineamento amostral

Foram selecionadas uma porção densa de pradaria, dominada por *R. maritima*, e o plano lamoso adjacente, com pouca variação de profundidade entre si (~ 0,3 m). Foram delimitados três ambientes de acordo com o gradiente de profundidade e densidade da vegetação, Plano Vegetado (PV), Borda (B) e Plano Lamoso (PL), distanciados 50 m (Fig. 1c).

Optou-se por amostrar seguindo um modelo hierarquizado que evita a pseudoreplicação, resolve os problemas da distribuição em manchas do bentos (Underwood & Chapman 1996) e permite estimar as componentes da variância em todas as escalas espaciais: ambiente, transecto, amostra (Underwood et al. 1997). Nos ambientes (PL, B, PV) foram traçados três transectos (T1, T2, T3), perpendiculares à

margem da marisma, distanciados em 50 m, entre si (Fig. 1d). Em cada transecto foram delimitados quadrados de 400 m² (20 m x 20 m), para cada ambiente, e tomadas amostras em duplicata para sedimentologia (S1, S2), 18 amostras, e triplicata para macrozoobentos e vegetação (A, B, C), 27 amostras, de forma aleatória nos períodos Antes (A) e Depois (D) dos quatro eventos estudados (Fig. 1d).

As amostragens foram realizadas imediatamente (horas) Antes (A1, A2, A3, A4) e Depois (D1, D2, D3, D4) da passagem de quatro sistemas frontais (SF), utilizando o Antes como controle, de acordo como o modelo BACI (Before/After, Control/Impact; Underwood 1994, 1996). Os eventos amostrais ocorreram nos meses de março (A: 08/03 e D: 13/03), maio (A: 08/05 e D: 13/05), agosto (A: 23/08 e D: 28/08) e novembro (A: 08/11 e D: 18/11) de 2019 (Tab. 1).

2.2 Variáveis ambientais

Os parâmetros temperatura (termômetro de mercúrio) e salinidade (refratômetro RH0-90 portátil) superficial d'água foram medidos a cada período do evento, e a altura da coluna d'água foi medida para cada ambiente (PL, B, PV).

Temperatura e salinidade diárias foram fornecidas pelo banco de dados do PELD-ELPA, para a Ilha dos Marinheiros. Dados horários de vazão foram obtidos junto à Agência Nacional das Águas – ANA, nas séries históricas das estações telemétricas (ANA 2019). Foram utilizados dados de vazão média mensal somada dos três tributários, e para a caracterização de cada evento foi utilizada a vazão média dos 10 dias que antecederam a passagem do SF para Antes, dado o tempo de residência da Lagoa dos Patos (Pereira & Niencheski 2004, Fallis 2010), e a média durante o evento (3 a 10 dias) para Depois. O critério de seleção das estações telemétricas foi com base em estudo de Vaz et al. (2006), para os Rios Jacuí, Taquarí e Camaquã, nas estações UHE Dona Francisca Jusante (cód.: 85395300), Encantado (cód.: 86720000) e Passo do Mendonça (cód.: 87905000), respectivamente.

2.3 Sistemas frontais e meteorologia

Foram amostradas quatro passagens de sistemas frontais (SF), sem perturbações prévias. Os prognósticos da formação de SF foram acompanhados através das previsões

do tempo (numéricas e convencionais) publicadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE e corroboradas através dos boletins publicados (CPTEC/INPE 2019a). Dados de direção e intensidade dos ventos, temperatura do ar e pluviosidade, dos meses de coleta (março, maio, agosto e novembro) foram obtidos da estação automática Rio Grande-A802 (CPTEC/INPE 2019b). A pluviosidade foi utilizada para caracterizar o índice de precipitação Antes e Depois de cada evento (10 dias antes do SF para Antes e durante para Depois).

Para a categorização da intensidade dos ventos foi utilizada a escala proposta por Francis Beaufort em 1805 (*apud* Petkovic 1964), a qual tem base na velocidade do vento. As interfaces gráficas, análise visual de intensidade e direção dos ventos foram criadas no programa livre WRPlot View, através de dados de direção e velocidade dos ventos e pluviosidade. Cada evento foi caracterizado a partir da velocidade média dos ventos, moda da direção dos ventos e velocidade máxima de rajada de três dias antes do SF para Antes e durante para Depois, tempo escolhido devido à rápida dinâmica atmosférica.

2.4 Sedimentologia

As amostras de sedimento foram coletadas com *Core* cilíndrico de 0,002 m², em duplicata (total de 144 amostras), seguindo o plano amostral (Fig. 1d), e mantidas congeladas até as análises. O processamento das amostras ocorreu no Laboratório de Sedimentologia do Núcleo de Estudos do Mar – NEMAR/UFSC. As amostras foram lavadas para a retirada de sais solúveis, secas em estufa (< 60 °C) e quarteadas manualmente. As análises granulométricas foram realizadas com amostras de peso entre 10 e 60 g, por via úmida pelo método indireto de pipetagem de Suguio (1973) e por peneiramento em diferentes intervalos de tamanho segundo escala de Wentworth (1922) modificada por Krumbein (1934). Teores de matéria orgânica (MO) foram determinados pela diferença de peso por calcinação (550 °C; 1 h; Davies 1974).

2.5 Vegetação

As metodologias aplicadas para estudo da pradaria submersa teve base no Protocolo da Vegetação Aquática Submersa (VAS) da Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos (Copertino et al. 2015) e em colaboração

com o Laboratório de Ecologia Vegetal Costeira (Instituto Oceanográfico – FURG). Em campo foram medidas a porcentagem de cobertura visual e a altura do dossel, em quadrados de 1 m², para melhor representar as espécies de maior porte. Foi retirada uma amostra de vegetação em cada transecto e ambiente, e fixada (formalina 4%) para posterior identificação, e armazenadas no Laboratório de Ecologia de Invertebrados Bentônicos. Amostras destrutivas das plantas e macrozoobentos foram obtidas simultaneamente a partir da extração com testemunhador cilíndrico de 0,008 m², no estrato 0 a 0,1 m.

Em laboratório as amostras foram triadas sob água corrente e conservadas refrigeradas. O processamento foi realizado separando-se as espécies pela semelhança na morfologia da folha. Logo *Z. palustris* e *R. maritima* foram computadas e pesadas juntas e *P. striatus* foi medida e pesada em separado. O peso seco das porções aérea e subterrânea das plantas foi obtido, com precisão de quatro casas decimais (balança analítica Shimadzu, mod. AUY 220), após secagem em estufa por 48 h a 60 °C. As medidas morfométricas, altura e largura da folha, comprimento total do rizoma (m²), n° de nós do rizoma (m²) e densidade de hastes, foram tomadas para estudos posteriores, mediante citação/coautoria.

2.6 Macrozoobentos

Amostras do macrozoobentos, coletadas simultaneamente com a vegetação (*Core* cilíndrico de 0,1 m Ø), foram estratificadas em 0 – 0,1 m para detectar a epifauna e infauna superior, e em 0,1 – 0,2 m para avaliar a infauna, totalizando 432 amostras. As amostras foram lavadas em campo com malha de 0,3 mm. O estrato inferior foi fixado (formalina 4 %) em campo e a porção superior foi mantida fresca para processamento. Em laboratório, imediatamente após as amostragens, o estrato superior foi pré-triado, através de lavagem em água corrente e visualização em microscópio estereoscópico (20 x), separando-se fauna e flora.

As amostras foram triadas em microscópio estereoscópico (40 x). Os organismos foram identificados ao menor nível taxonômico possível, conservados em álcool 70 % e armazenadas na coleção do Laboratório de Ecologia de Invertebrados Bentônicos – FURG, para aulas práticas e posteriores estudos, mediante citação e coautoria.

2.7 Análise de dados

2.7.1 Análises univariadas

Visando compreender as diferenças entre ambientes, Antes e Depois dos SF, foram realizadas análises, através do software livre R, com auxílio do ambiente de desenvolvimento integrado RStudio.

Para averiguar as características sedimentológicas foi utilizado o pacote Rysgran obtendo-se tamanho médio do grão, pelo método de Folk & Ward (1957), classificações texturais e distribuição de sedimentos. Os descritores (parâmetros) numéricos utilizados nas análises foram: tamanho médio do grão, seleção e matéria orgânica.

Para entender o poder de complexação de habitat e atenuação da hidrodinâmica foram empregados os seguintes descritores para a vegetação: biomassa aérea e subterrânea de *P. striatus* e *R. maritima*/*Z. palustris*, altura do dossel e porcentagem de cobertura vegetal. Para a macrofauna foram obtidos como descritores a densidade de organismos, o Índice de Diversidade de Shannon-Wiener e Equitatividade de Pielou, com o pacote Vegan, para epifauna e infauna. Para graficar foi usado o pacote Sciplot do programa R.

O teste T de Student ($p \leq 0,05$) abrangeu os conjuntos de dados entre períodos (A, D) de cada evento (EV1, EV2, EV3, EV4) em cada ambiente (PL, B, PV) e foi realizado a partir da função `lm()`. Foram aplicadas ANOVA's fatoriais (função `aov()`) para identificar diferenças sazonais entre eventos (1, 2, 3, 4,) e ambientes (PL, PV, B) nos descritores selecionados. Através dos resíduos foram testados os pressupostos de independência, normalidade de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$) e homocedasticidade de Bartlett ($p \geq 0,05$) (Zar 1984, Underwood et al. 1997).

Quando os pressupostos não foram atendidos utilizaram-se as análises não paramétricas, correspondentes, de Mann-Whitney e Transformação de Postos (Conover & Iman 1979). Foi utilizado o teste de comparação de médias, *post-hoc*, de Tukey (Tukey 1953) ou Student-Newman-Keuls (Underwood et al. 1997), para comparar pares de médias. As tabelas de significâncias de teste (Tab. 3 e Tab. 4) encontram-se no apêndice.

2.7.2 Análises multivariadas

Para as análises multivariadas optou-se por trabalhar somente com Plano Vegetado (PV) e Plano Lamoso (PL), visto que estes dois ambientes representam os extremos de complexidade estrutural.

Para a assembleia bentônica, com base na densidade e riqueza, foram aplicadas as análises de Escalonamento Multidimensional (nMDS), baseado na matriz de similaridade de Bray-Curtis (Clarke & Warwick 2001; Primer 5.0[®]), e aceitos os modelos com $stress < 0,2$. Para tanto, se utilizou as espécies que ocorreram pelo menos em uma amostra de cada evento e amostras com mais de uma ocorrência. Como fatores foram atribuídos os ambientes (PL, PV) e Antes *VS* Depois + Ambientes (APL, AB, APV, DPL, DB, DPV), para cada evento separadamente (EV1, EV2, EV3 e EV4). Para comparar a estrutura das assembleias foi utilizada a Análise de Similaridade Multivariada (ANOSIM) de uma via, sendo rejeitada a hipótese nula quando $p \leq 0,05$ (Clarke & Warwick 2001). A tabela de significância de teste encontra-se no apêndice (Tab. 5).

Foi realizada a Análise de Correlação Canônica (CCA), através do pacote *vegan*, com uma matriz de dados bióticos (densidades das espécies infaunais e epifaunais) e uma matriz de dados ambientais (temperatura, salinidade, altura da coluna d'água; porcentagem de cobertura vegetal, altura do dossel, biomassa vegetal aérea e subterrânea de *R. maritima*/ *Z. palustris* e *P. striatus*, biomassa vegetal aérea e subterrânea total; seleção e tamanho médio do grão, matéria orgânica; velocidade e direção de vento). Para os dados meteorológicos optou-se pelo uso de médias aritméticas e modas dos três dias anteriores ao Antes e o período entre coletas para Depois. Os dados da assembleia macrofaunal foram padronizados por $\log(x + 1)$, enquanto os dados ambientais pela transformação de dados Hellinger. Foi realizada a ANOVA, como teste de permutação, para avaliar a significância dos eixos, termos resultantes e resultado da CCA.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização ambiental e climatologia

A maior vazão média dos três tributários ocorreu em novembro ($2.794,74 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), a qual contemplou o EV4, e a menor foi em dezembro ($545,75 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; Fig. 2). O mês com maior taxa de precipitação acumulada na cidade de Rio Grande foi janeiro (222 mm) e a menor foi março (23,6 mm), que compreende o EV1. A temperatura do ar teve mínimas de $5 \text{ }^\circ\text{C}$ no inverno (EV3) e máximas de $29 \text{ }^\circ\text{C}$ no verão (EV1). O mês de julho apresentou as menores médias diárias ($11 \text{ }^\circ\text{C}$) e o mês de janeiro as maiores médias diárias ($24 \text{ }^\circ\text{C}$).

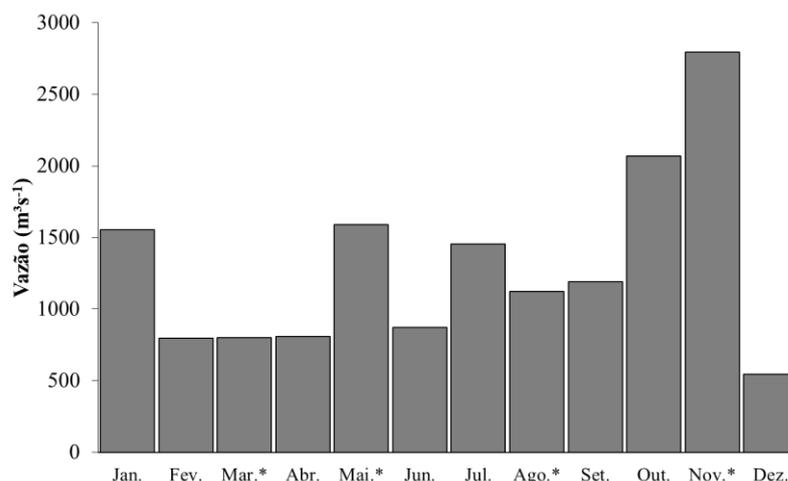


Figura 2. Vazão média dos principais tributários da Lagoa dos Patos, durante o ano de 2019. Meses de coleta destacados com asterisco (*).

A salinidade teve valores máximos (27, 28) em março (EV1) e valores próximos a zero de outubro a novembro (EV4; Tab 1). A temperatura da coluna d'água teve máximas de $33 \text{ }^\circ\text{C}$ no mês de janeiro e mínimas de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ no mês de julho (Tab 1).

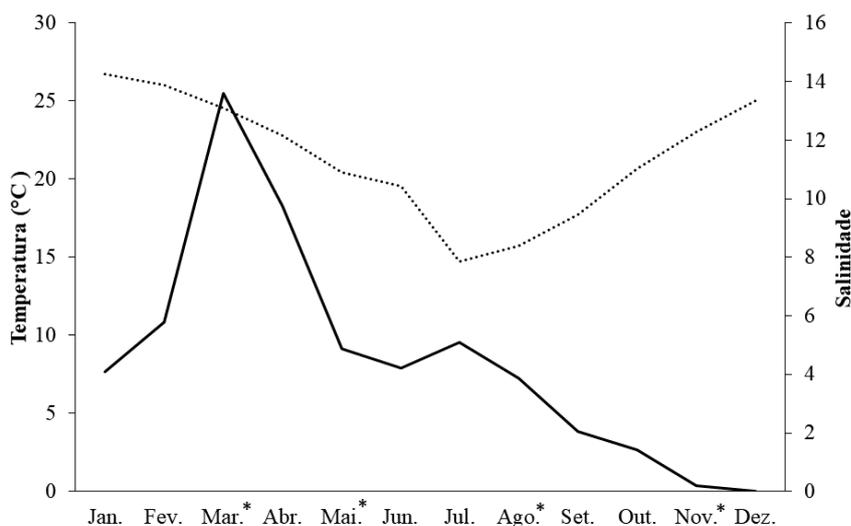


Figura 3. Salinidade (linha contínua) e temperatura (linha pontilhada) médias mensais da coluna d'água durante o ano de 2019, na Ilha dos Marinheiros, adjacente ao Saco do Justino. Meses de coleta destacados com asterisco (*).

No EV1 a vazão média nos 10 dias Antes da coleta foi de $807,06 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e $943,30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ Depois da passagem do SF. A precipitação acumulada para Rio Grande Antes do SF foi 4,88 mm e 3,2 mm Depois. A temperatura do ar permaneceu em $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Os ventos Antes do EV1 (Fig. 4a) foram categorizados como Brisa Leve à Fraca, com rajadas de Brisa Forte, segundo a classificação de Beaufort (Petkovic 1964), do quadrante Nordeste, 0 % de calmarias e velocidade média de $2,69 \text{ ms}^{-1}$. O período Depois da passagem do SF (Fig. 4b) foi marcado por Brisa Fraca à Moderada e rajadas de Ventos Fortes de Sul-Sudeste, com 0 % de períodos de calmarias e velocidade média de $3,71 \text{ ms}^{-1}$.

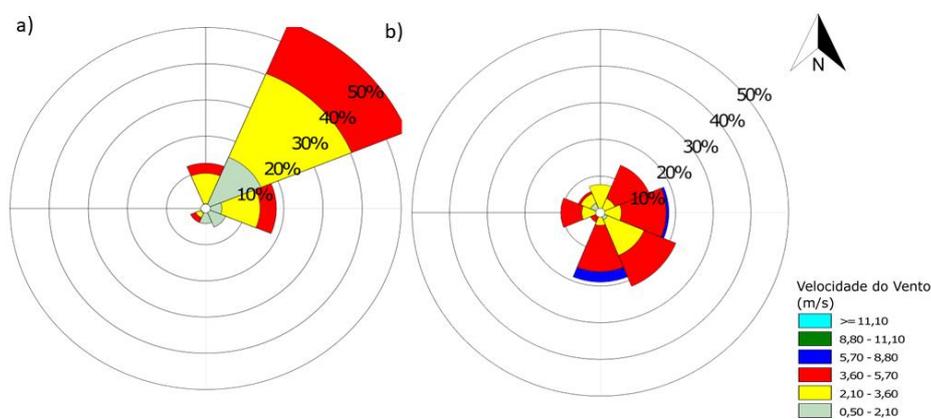


Figura 4. Rosa dos ventos para direção, classes de velocidade e frequência dos ventos Antes (a) e Depois (b) da passagem do EV1.

A salinidade durante o EV1 não variou, mantendo-se em 15. A temperatura da coluna d'água variou de 25 °C para 22 °C (Tab. 1). A profundidade reduziu na Borda (B) em 0,05 m e no Plano Vegetado (PV) em 0,1 m (Tab. 1).

Tabela 1. Variáveis ambientais aferidas em campo Antes e Depois de cada evento no Plano Lamoso, Borda e Plano Vegetado, estabelecidos segundo as coordenadas geográficas. S: Salinidade; T: Temperatura, P: Profundidade.

EV	AMB	COORD. (WGS84)	DATA	S	T (°C)	P (m)
A1	PL	32° 4'16.83" S / 52°13'29.94" O				0,75
	B	32° 4'12.60" S / 52°13'29.33" O	8/03	15	25	0,70
	PV	32° 4'9.42" S / 52°13'28.00" O				0,60
D1	PL	32° 4'16.83" S / 52°13'29.94" O				0,75
	B	32° 4'12.76" S / 52°13'26.27" O	13/03	15	22	0,65
	PV	32° 4'9.42" S / 52°13'28.00" O				0,50
A2	PL	32° 4'16.85" S / 52°13'26.43" O				1,00
	B	32° 4'12.60" S / 52°13'29.33" O	8/05	15	19	0,80
	PV	32° 4'9.41" S / 52°13'25.61" O				0,70
D2	PL	32° 4'16.83" S / 52°13'29.94" O				1,00
	B	32° 4'12.76" S / 52°13'26.27" O	13/05	16	17	0,90
	PV	32° 4'9.42" S / 52°13'28.00" O				0,80
A3	PL	32° 4'16.81" S / 52°13'16.63" O				1,20
	B	32° 4'12.91" S / 52°13'19.90" O	23/08	3	12	0,80
	PV	32° 4'9.82" S / 52°13'17.87" O				0,50
D3	PL	32° 4'17.17" S / 52°13'19.55" O				0,90
	B	32° 4'12.34" S / 52°13'17.69" O	28/08	8	15	0,60
	PV	32° 4'9.68" S / 52°13'20.37" O				0,55
A4	PL	32° 4'16.85" S / 52°13'26.43" O				1,30
	B	32° 4'12.60" S / 52°13'29.33" O	8/11	0	25	1,20
	PV	32° 4'9.41" S / 52°13'25.61" O				1,10
D4	PL	32° 4'16.83" S / 52°13'29.94" O				1,20
	B	32° 4'12.76" S / 52°13'26.27" O	18/11	0	27	0,90
	PV	32° 4'9.42" S / 52°13'28.00" O				0,70

O evento dois (EV2) teve variação da vazão média dos principais tributários de 1.244,23 m³s⁻¹ Antes para 1.267,42 m³s⁻¹ Depois. A precipitação acumulada em Rio Grande nos 10 dias Antes da passagem do SF foi de 5,8 mm e o acumulado para Depois foi de 18,8 mm. A temperatura média reduziu Depois da passagem do SF de 18,5 °C para 17,4 °C. Antes da coleta foram registrados ventos Sul (Fig. 5a) com Brisa Leve a Moderada e rajadas de Vento fresco (Beaufort 1805 *apud* Petkovic 1964). Não foram constatados períodos de calmarias e a velocidade média do vento foi de 2,67 ms⁻¹. Depois (Fig. 5b) houve predominância de ventos de Sudoeste caracterizados como Brisa

Fraca à Moderada e rajadas de Vento Fresco (Beaufort 1805 *apud* Petkovic 1964). Houve 2,10 % de calmarias e velocidade média de $3,08 \text{ ms}^{-1}$. A passagem do EV2 gerou aumento de salinidade de 15 para 16, redução de temperatura de $19 \text{ }^\circ\text{C}$ para $17 \text{ }^\circ\text{C}$ e aumento da altura da coluna d'água na B e PV em 0,1 m (Tab. 1).

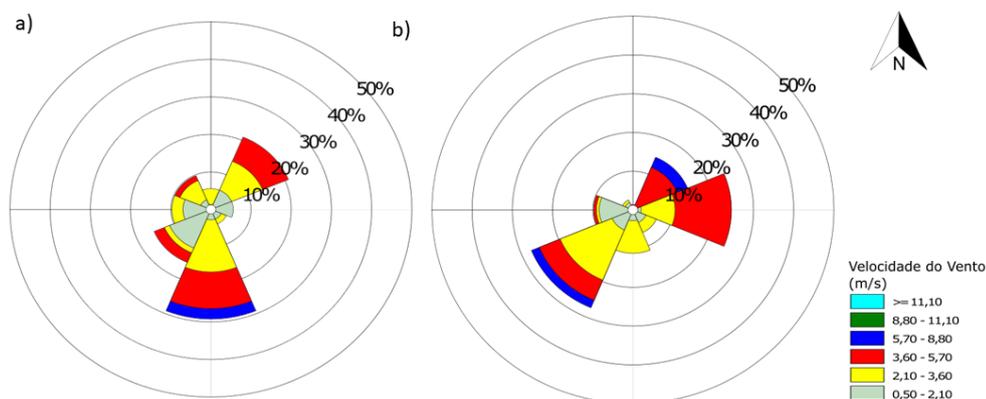


Figura 5. Rosa dos ventos para direção, classes de velocidade e frequência dos ventos Antes (a) e Depois (b) da passagem do EV2.

No evento três (EV3) a vazão média Antes da passagem do SF foi de $1.201 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e Depois de $675,91 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A precipitação acumulada em Rio Grande Antes foi 0,2 mm e 0,6 mm Depois. A temperatura do ar aumentou de $10,6 \text{ }^\circ\text{C}$ para $13,4 \text{ }^\circ\text{C}$. O período Antes da passagem do SF foi marcado por Brisa Leve à Fraca de Sul e Sudoeste com rajadas de Brisa Moderada (Beaufort 1805 *apud* Petkovic 1964). A velocidade média dos ventos foi de $2,19 \text{ ms}^{-1}$ e 0 % de calmarias (Fig. 6a). Depois da passagem do SF os ventos mudaram a direção para Este-Nordeste (Fig. 6b), a velocidade do vento foi de Brisa Leve à Brisa Forte, com rajadas de Vento Forte (Beaufort 1805 *apud* Petkovic 1964). Nesse período foram constatados 2,82 % de calmarias e velocidade média de $2,77 \text{ ms}^{-1}$. Averiguou-se a elevação de salinidade em 5, o aumento da temperatura da água de $12 \text{ }^\circ\text{C}$ para $15 \text{ }^\circ\text{C}$ e redução da altura da coluna d'água (Tab. 1).

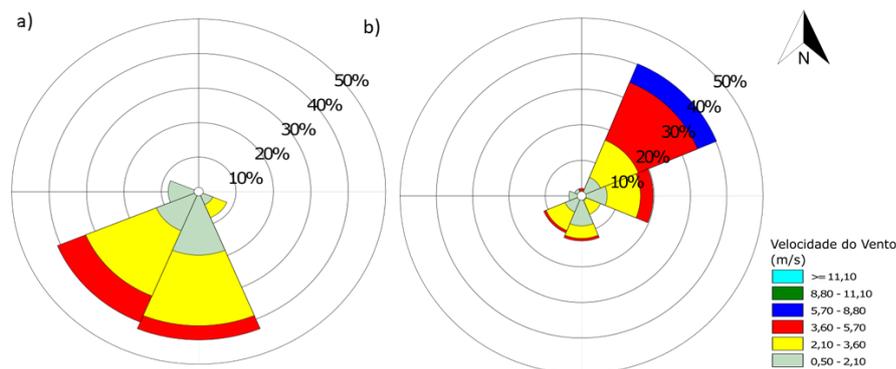


Figura 6. Rosa dos ventos para direção, classes de velocidade e frequência dos ventos Antes (a) e Depois (d) da passagem do EV3.

O evento quatro (EV4) foi caracterizado pelas maiores médias de vazão $5587,51 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ Antes do SF e Depois $2749,83 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A precipitação acumulada Antes em Rio Grande foi de 101,2 mm e Depois de 16,6 mm. A temperatura média do ar variou de $19,3 \text{ }^\circ\text{C}$ para $20,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Antes da passagem do SF houve 1,39 % de calmarias e as velocidades médias dos ventos foram de $2,71 \text{ ms}^{-1}$, classificados como Brisa Leve à Fraca, e rajadas de Brisa Forte (Beaufort 1805 *apud* Petkovic 1964), dos quadrantes Leste e Sudeste (Fig. 7a). Depois dos dois SF os ventos foram classificados como Brisa Fraca à Moderada (Beaufort 1805 *apud* Petkovic 1964) com velocidades médias de $3,42 \text{ ms}^{-1}$, e rajadas de Ventos Frescos (Beaufort 1805 *apud* Petkovic 1964) de quadrantes Leste e Nordeste (Fig. 7b). Houve 2,27 % de calmarias no período. A salinidade permaneceu em zero e a temperatura aumentou $2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Tab. 1). Houve as maiores variações de profundidade, em relação aos demais eventos, reduzindo 0,1 m no PL, 0,3 m na B e 0,4 m no PV (Tab. 1).

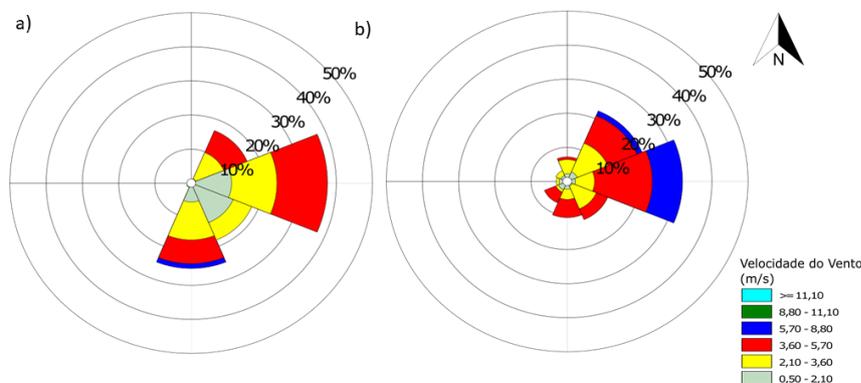


Figura 7. Rosa dos ventos para direção, classes de velocidade e frequência dos ventos Antes (a) e Depois (d) da passagem do EV4.

3.2 Sedimentologia

3.2.1 Matéria orgânica

Os teores de matéria orgânica (MO) aumentaram significativamente (Conover; $p < 0,05$) entre o EV1 (verão/2019) e EV3 (inverno/2019) e reduziram no EV4 (primavera/2019; Fig. 8). Considerando a média anual dos teores de MO, os ambientes com as maiores porcentagens foram o PL (1,8 %), seguido pela B (1,6 %) e PV (1,4 %), com diferenças estatisticamente significativas entre PL e PV (Conover; $p < 0,01$).

Durante o evento um (EV1) os teores de MO não variaram significativamente em nenhum dos ambientes (Fig. 8). No evento dois (EV2) a porcentagem de MO, entre Antes e Depois, aumentou significativamente em 1,3 % (Mann-Whitney; $p = 0,02$) no PL e em 0,8 % na B (Mann-Whitney; $p < 0,01$; Fig. 8). Nos eventos três (EV3) e quatro (EV4) a passagem do SF não gerou variações significativas desse descritor (Fig.8).

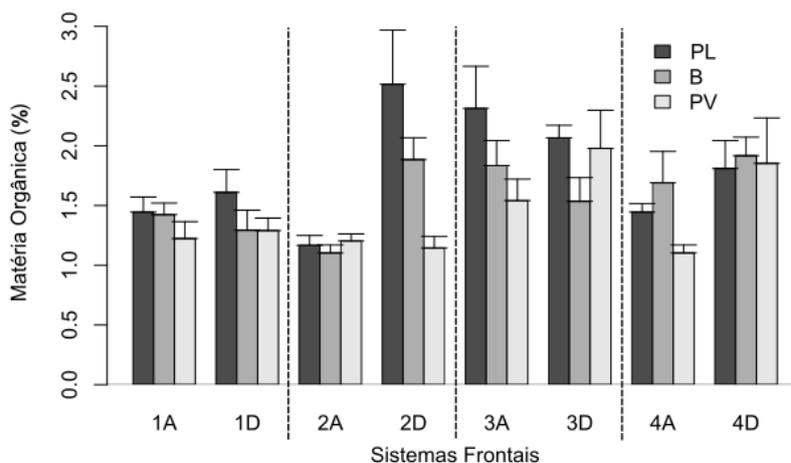


Figura 8. Porcentagem média de matéria orgânica (\pm EP) presente nos sedimentos do Plano Vegetado, Plano Lamoso e Borda, Antes e Depois da passagem de quatro sistemas frontais no ano de 2019.

3.2.2 Granulometria

Os sedimentos foram classificados como areia muito fina (Tab. 2), exceto em algumas amostras que apresentaram baixas frações de areia fina e silte grosso, porém sem variações significativas entre eventos (Conover; $p = 0,05$). A seleção dos grãos foi de moderadamente selecionada a moderadamente bem selecionada (Tab. 2) e houve diferenças significativas entre os eventos (Conover; $p = 0,04$). A passagem dos sistemas frontais (SF) não gerou variação significativa no tamanho do grão em nenhum

dos eventos ou ambientes estudados (Tab. 2). Entre Antes e Depois a seleção foi alterada somente no evento dois (EV2), no Plano Lamoso (PL) (Student; $p = 0,02$; Tab. 2).

Tabela 2. Análise de tamanho médio do grão por Folk & Ward (1957), classificação textural e distribuição dos sedimentos inconsolidados Antes e Depois da passagem de quatro sistemas frontais, nos ambientes estudados. EV: evento; AMB: ambiente. O asterisco indica onde houve variações estatisticamente significativas.

EV	AMB	Tamanho Médio do Grão (ϕ)		Seleção (ϕ)	
A1	PL	Areia muito fina	3,19	Moderadamente selecionado	0,67
	B	Areia muito fina	3,27	Moderadamente selecionado	0,64
	PV	Areia muito fina	3,17	Moderadamente bem selecionado	0,55
D1	PL	Areia muito fina	3,21	Moderadamente selecionado	0,59
	B	Areia muito fina	3,22	Moderadamente bem selecionado	0,60
	PV	Areia muito fina	3,13	Moderadamente bem selecionado	0,50
A2	PL	Areia muito fina	3,32	Moderadamente bem selecionado	0,52
	B	Areia muito fina	3,21	Moderadamente bem selecionado	0,58
	PV	Areia muito fina	3,20	Moderadamente bem selecionado	0,59
D2	PL	Areia muito fina	3,53	Pobremente selecionado*	1,00
	B	Areia muito fina	3,45	Moderadamente selecionado	0,61
	PV	Areia muito fina	3,22	Moderadamente bem selecionado	0,59
A3	PL	Areia muito fina	3,39	Pobremente selecionado	0,86
	B	Areia muito fina	3,24	Moderadamente selecionado	0,66
	PV	Areia muito fina	3,26	Moderadamente selecionado	0,60
D3	PL	Areia muito fina	3,29	Moderadamente selecionado	0,65
	B	Areia muito fina	3,28	Moderadamente selecionado	0,60
	PV	Areia muito fina	3,18	Moderadamente selecionado	0,75
A4	PL	Areia muito fina	3,30	Moderadamente selecionado	0,66
	B	Areia muito fina	3,37	Moderadamente selecionado	0,67
	PV	Areia muito fina	3,21	Moderadamente bem selecionado	0,65
D4	PL	Areia muito fina	3,35	Moderadamente selecionado	0,57
	B	Areia muito fina	3,40	Pobremente selecionado	0,75
	PV	Areia muito fina	3,52	Pobremente selecionado	0,81

3.3 Vegetação aquática submersa

Os resultados dos parâmetros da vegetação aquática submersa mostram uma tendência sazonal de crescimento das espécies, com expansão da pradaria no verão (EV1), senescência no inverno (EV3), e início da reestruturação na primavera (EV4).

Esta variabilidade ao longo de 2019 foi significativa para todos os parâmetros analisados (Conover; $\alpha < 0,05$).

No período de verão (EV1) as fanerógamas possuíam estruturas reprodutivas, havia a presença de *P. striatus* (Fig. 12), e nas amostras havia presença de sementes germinadas. Já no outono (EV2) a presença de *P. striatus* (Fig. 12) foi baixa, com alta abundância de plantas de deriva e algas filamentosas epífitas, menor altura (Fig. 10) e ausência de frutificação. No inverno (EV3) houve a efetiva senescência da pradaria e foi necessário o deslocamento da malha amostral em 100 m para obter-se um local vegetado. Com o início da primavera (EV4) a pradaria tornou-se menos espaçada (Fig. 9) e foram observados exemplares de *P. striatus* (Fig. 12).

A porcentagem de cobertura visual no EV1 aumentou em 20 % (Mann-Whitney; $p = 0,03$; Fig. 9) na Borda (B) e em 10 % (Mann-Whitney; $p = 0,0001$; Fig. 9) no PV. No EV2 a passagem do sistema frontal gerou a redução em 30 % da cobertura vegetal no PV (Student; $p = 0,004$; Fig. 9). No EV3 a porcentagem de cobertura do PV reduziu 22,2 % (Mann-Whitney; $p = 0,004$; Fig. 9). No evento quatro (EV4) houve aumento de 10 % (Student; $p = 0,008$; Fig. 9) da cobertura na Borda (B).

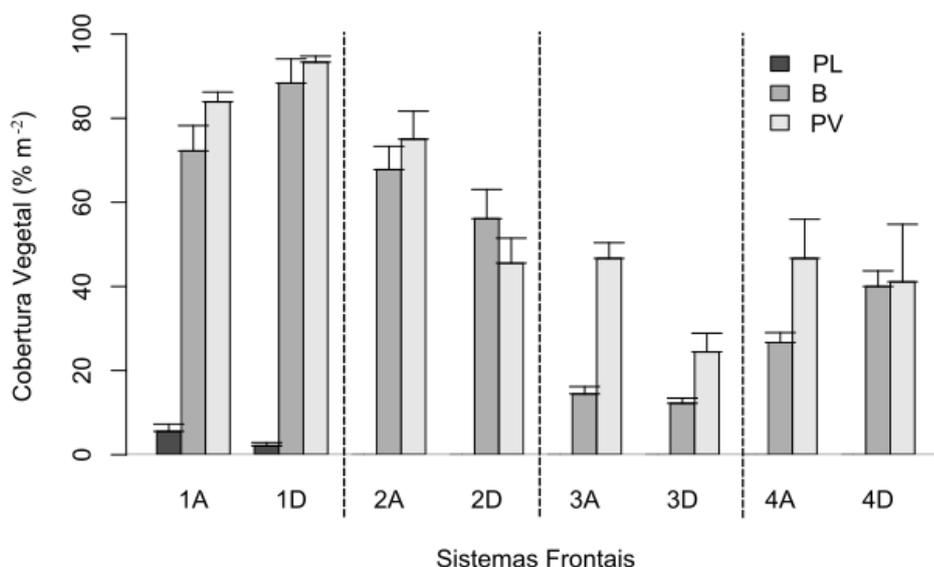


Figura 9. Porcentagem de cobertura vegetal média (\pm EP) do Plano Vegetado, Plano Lamoso e Borda, Antes e Depois da passagem de quatro sistemas frontais no ano de 2019.

A altura das fanerógamas marinhas foi alterada significativamente somente no EV1 quando houve a redução da altura em 0,1 m (Mann-Whitney; $p = 0,02$; Fig. 10) no PL e aumento de 0,3 m (Student; $p = 0,01$; Fig. 10) no PV.

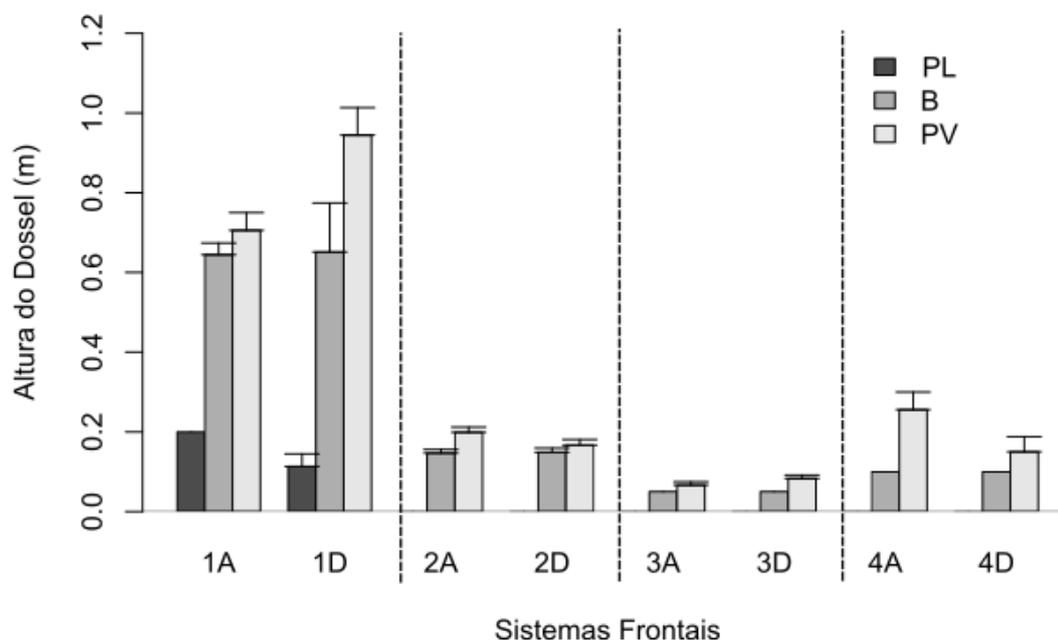


Figura 10. Altura média do dossel (\pm EP) do Plano Vegetado, Plano Lamoso e Borda, Antes e Depois da passagem de quatro sistemas frontais, no ano de 2019.

No EV1, entre os distintos períodos, houve o aumento da biomassa aérea de *R. maritima/Z. palustris* (A: 0,00 gWDM^{-2} , D: 0,23 gWDM^{-2} ; Mann-Whitney; $p = 0,04$; Fig. 11), no PL e aumento da biomassa subterrânea de *R. maritima/ Z. palustris* (A: 0,00 gWDM^{-2} ; D: 3,14 gWDM^{-2} ; Mann-Whitney; $p = 0,0001$; Fig. 11) no PV. No EV2 houve redução das biomassas aéreas e subterrâneas de *R. maritima/ Z. palustris* de 1 gWDM^{-2} e 0,7 gWDM^{-2} , respectivamente, para zero (Mann-Whitney; $p = 0,004$; $p = 0,0$; Fig. 11) no PL.

Para *P. striatus* houve apenas aumento da biomassa subterrânea de 3,06 gWDM^{-2} para 9,43 gWDM^{-2} (Mann-Whitney; $p = 0,01$; Fig. 12), após o EV1.

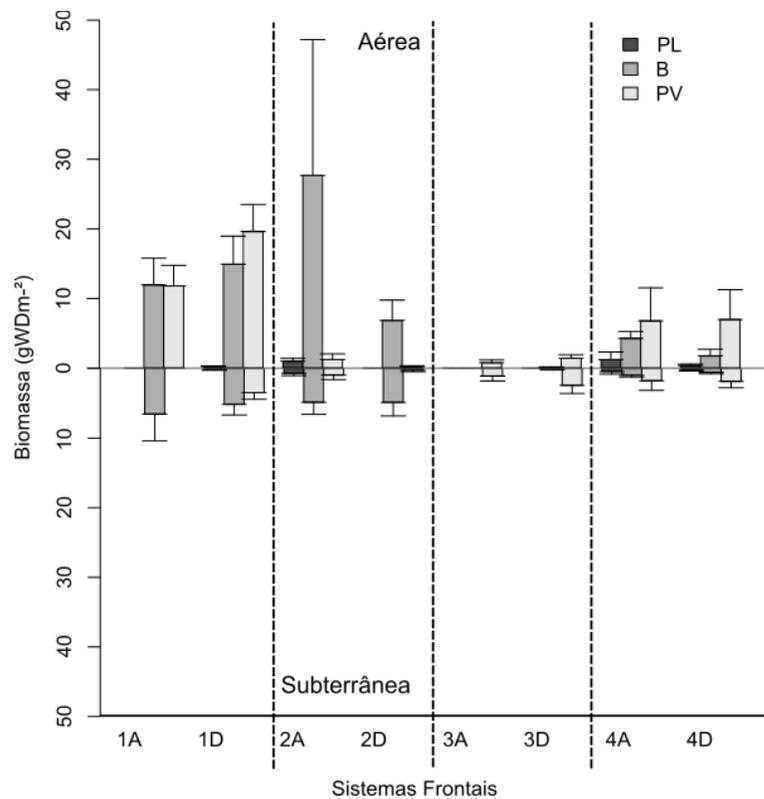


Figura 11. Biomassa aérea (eixo superior) e subterrânea (eixo inferior) média de *R. maritima* e *Z. palustris* (\pm EP) no Plano Lamoso, Borda e Plano Vegetado, Antes e Depois dos quatro eventos durante o ano de 2019.

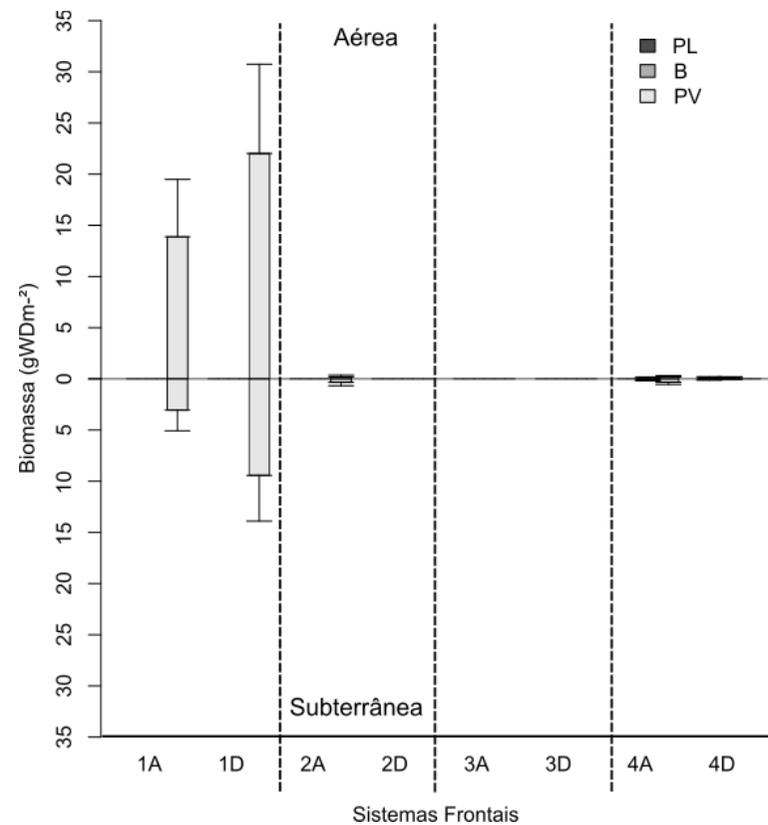


Figura 12. Biomassa aérea (eixo superior) e subterrânea (eixo inferior) média de *P. striatus* (\pm EP) no Plano Lamoso, Borda e Plano Vegetado, Antes e Depois da passagem dos quatro sistemas frontais em 2019.

3.4 Macrozoobentos

Durante o estudo foram coletados 13.828 organismos macrozoobentônicos pertencentes a 20 *taxa* (Fig. 13), em 432 amostras. Os grupos dominantes pertenceram à Classe Polychaeta com 12.722 organismos e ao Filo Mollusca com 767 organismos (Fig. 13). O *táxon* mais diverso foi o Subfilo Crustacea (~ 6 spp., 1 Ordem). As espécies que tiveram o maior número de ocorrências foram *Laeonereis* cf. *acuta* Treadwell, 1923 (252 amostras) e *Heteromastus similis* Southern, 1921 (247 amostras). A espécie com menor número de ocorrências foi *Diastylis sympterygiae* Bacescu & Lima de Quieroz, 1985, um organismo em uma amostra. Além de organismos macrozoobentônicos, foi coletada abundante meiofauna de Ostracodas com diferentes morfotipos (branco: 44.194; translúcido: 9.453), Nematodas (2.075), Copepodas (4.012), larvas de Dendobranchiata (33), juvenis de *Callinectes* sp. Stimpson, 1860 (4) e *Cyrtograpsus angulatus* Dana, 1851 (9), organismos límnicos como larvas de Chironomidae (161), Odonata (6) e Hydrachnidea (1.158), os terrestres Homóptera (2), Coleóptera (2), Himenóptera (5), Collembola (6), Cicadellidae (1), alguns organismos planctônicos como Cladocera Latreille, 1829 (151) e Salpidae Lahille, 1888 (9), e dois morfotipos dos Protozoários Foraminíferos Planispiral-Circular (~ 809) e Miliolino (~ 9.584).

Quando considerados os hábitos de relação com substrato coletou-se 890 organismos epifaunais e 12.938 organismos infaunais (Fig. 13). A espécie infaunal mais abundante foi *H. similis* (5.864 indiv.; 247 amostras; Fig. 13). Dos organismos epifaunais o gênero mais frequente e abundante foi *Heleobia* Stimpson, 1865 (699 indiv.; 189 amostras), que foi identificado, quando possível, a nível específico em *H. australis* d'Orbigny, 1835 (123 indiv.) e *H. charruana* d'Orbigny, 1840 (206 indiv; Fig. 13). Convém destacar a presença de dois *taxa* de organismos epifaunais sésseis, que ali recrutaram pela presença de substrato (fanerógamas marinhas), os Balanidae Leach, 1817, que ocorreram em 31 amostras, com abundância de 70 indivíduos e Hydrozoa Owen, 1843 em 16 amostras e abundância de 38 pólipos.

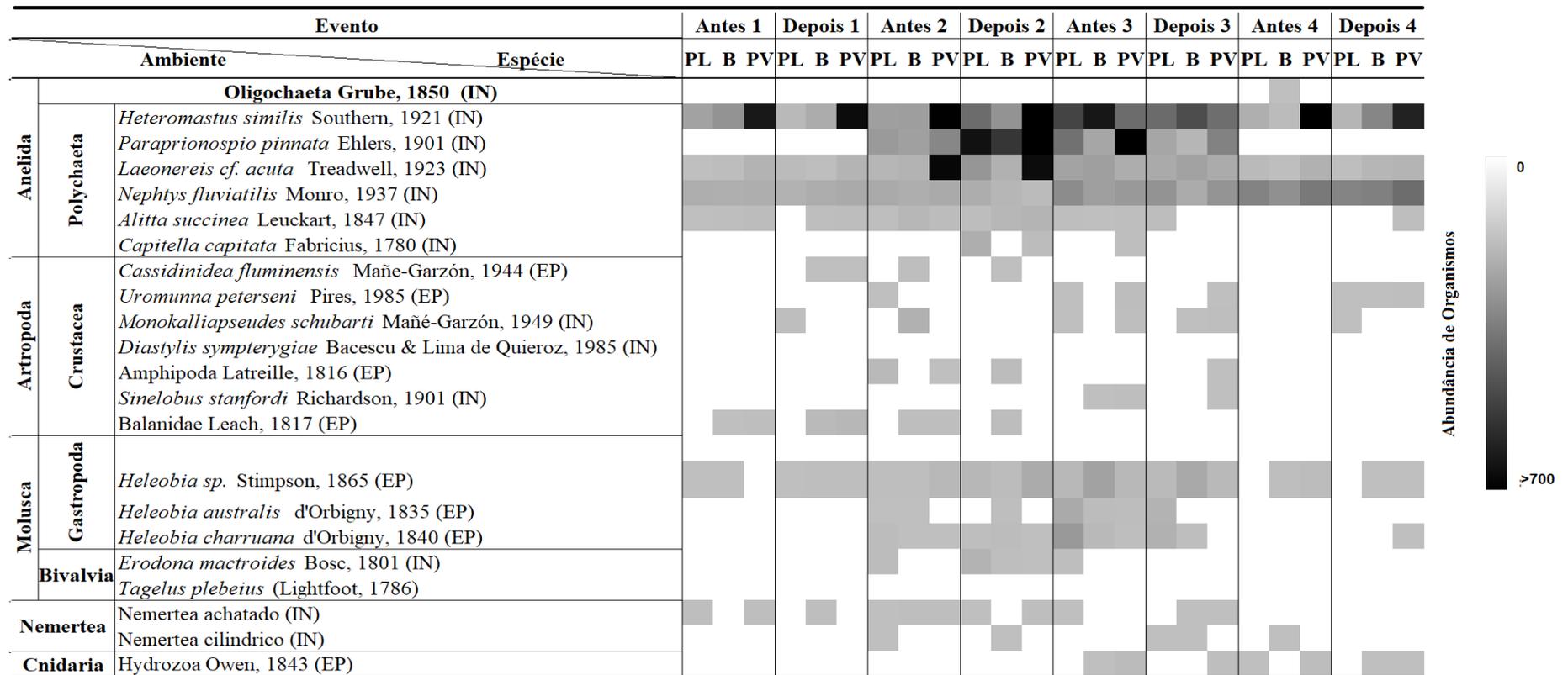


Figura 13. Matriz de abundância média dos taxa (linhas) de organismos infaunais (IN) e epifaunais (EP) coletado nos diferentes períodos dos eventos e Ambientes (colunas), sendo as tonalidades mais escuras referentes às maiores abundâncias em 0,008 m² e as mais claras referentes às menores abundâncias.

Verificou-se que ocorreu o aumento da densidade de organismos epifaunais e infaunais no EV2 (outono) e EV3 (inverno), em relação ao EV1 (verão), e redução no EV4 (primavera; Fig. 14; Conover; $p < 0,05$). As diversidades apresentaram tendência de aumento no EV2 e EV3 tanto para a infauna quanto para a epifauna, e queda no EV4 (Conover; $p < 0,05$; Fig. 15). A equitatividade apresentou elevação para epifauna entre os EV2 e EV3, com valor próximo a um representando menor dominância de espécies, e queda no EV4. Já para a infauna, foi possível observar certa uniformidade ao longo do ano (Fig. 16).

No evento um (EV1) não houve variação significativa na densidade epifaunal ou infaunal (Fig. 14) em curto-prazo. No EV2 foi observado o aumento significativo da densidade média da infauna Depois da passagem do SF no Plano Lamoso (PL) de 2.020 indv.m^{-2} para 6.451 indv.m^{-2} (Mann-Whitney; $p = 0,005$) (Fig. 14). No EV3 houve a maior densidade absoluta de organismos epifaunais (Fig. 14), no PL Antes da passagem do SF, com em média 1.250 indv.m^{-2} , e grandes densidades de *Heleobia* sp. (796 indv.m^{-2}). A passagem do EV3 causou a redução da densidade da epifauna no Plano Vegetado (PV) de 388 indv.m^{-2} para 194 indv.m^{-2} (Student; $p = 0,05$; Fig. 14). Para a infauna, no EV3, houve a diminuição da densidade de 4.784 indv.m^{-2} para 3.229 indv.m^{-2} na Borda (B) (Mann-Whitney; $p = 0,009$; Fig. 14), de 5.263 indv.m^{-2} para 3.312 indv.m^{-2} no PL (Mann-Whitney; $p = 0,03$; Fig. 14) e 6.284 indv.m^{-2} para 3.888 indv.m^{-2} no PV (Mann-Whitney; $p = 0,04$; Fig. 14). No EV4 a densidade da infauna sofreu aumento significativo somente na B de 1.041 indv.m^{-2} para 2.402 indv.m^{-2} (Mann-Whitney; $p = 0,02$; Fig. 14).

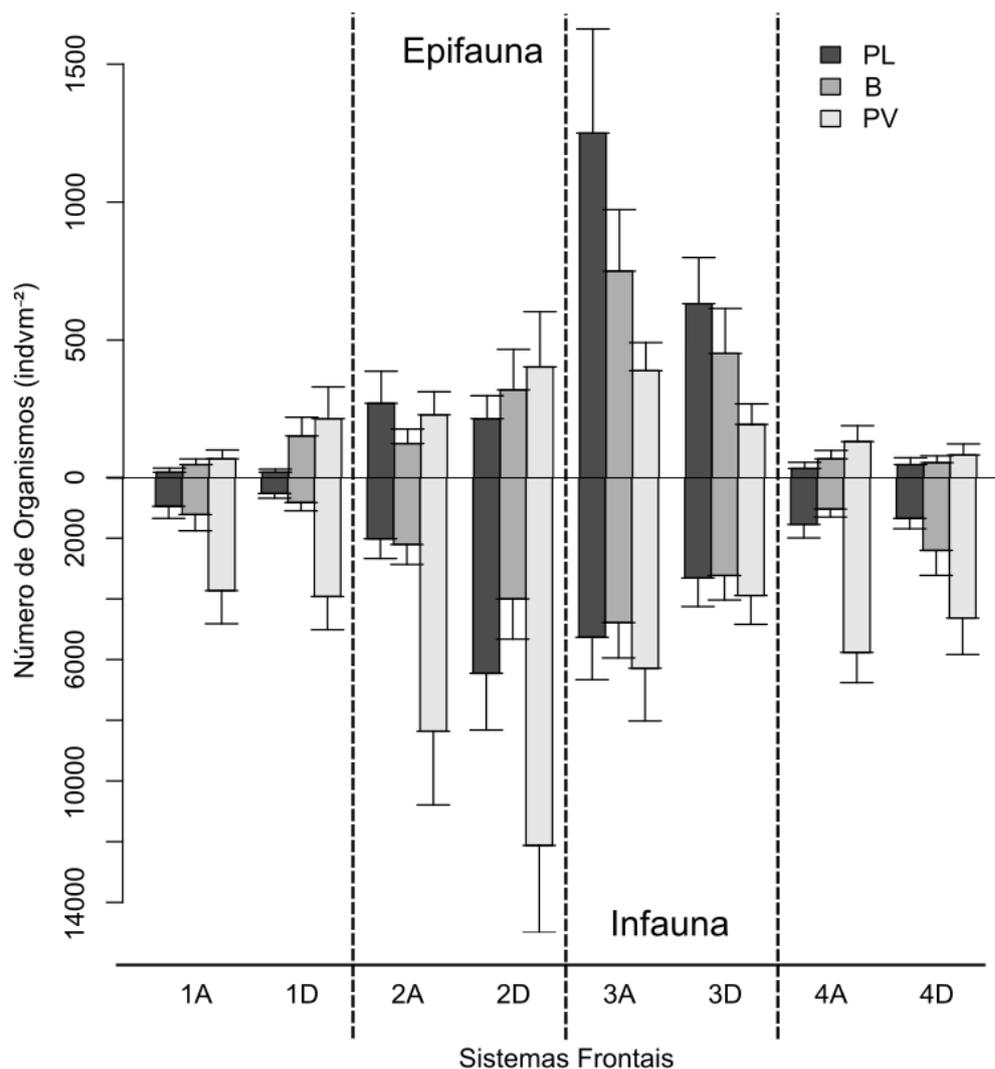


Figura 14. Densidade média (\pm EP) de organismos infaunais (eixo inferior) e epifaunais (eixo superior) no Plano Lamoso, Borda e Plano Vegetado, Antes e Depois dos quatro eventos durante o ano de 2019.

No evento um (EV1) não houve variação significativa da diversidade (Fig. 15). No Plano Vegetado (PV), durante o EV2, houve redução da diversidade da epifauna de 0,5 para 0,2 (Mann-Whitney; $p = 0,02$) e aumento da infauna de 1 para 1,2 (Student; $p = 0,04$; Fig. 15). No EV3 a diversidade da infauna aumentou significativamente no PV (Student; $p = 0,006$) e permaneceu igual na B e no PL (Fig. 15). No EV4 a diversidade da infauna no PV aumentou significativamente de 0,5 para 0,6 (Student; $p = 0,03$; Fig. 15).

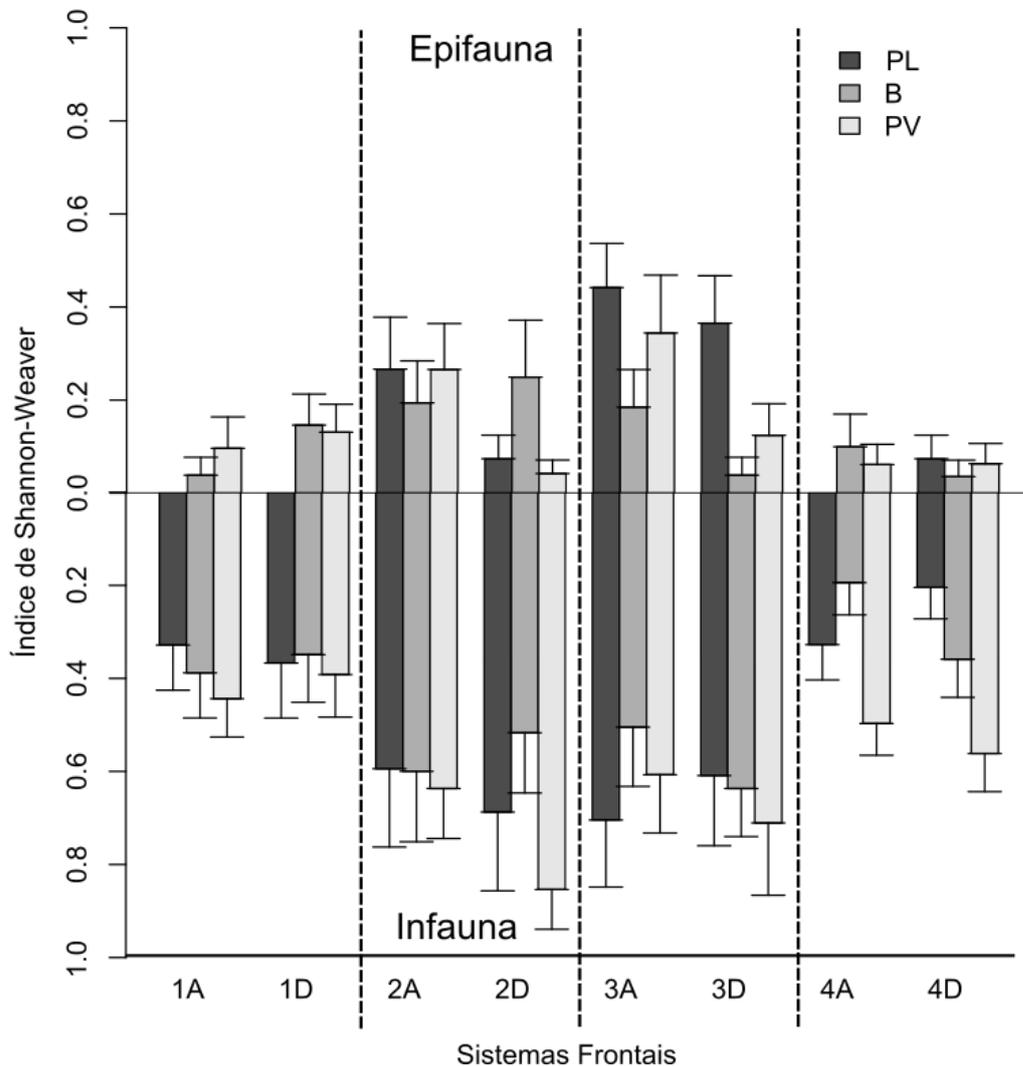


Figura 15. Diversidade média (\pm EP) de organismos infaunais (eixo inferior) e epifaunais (eixo superior) em Plano Lamoso, Borda e Plano Vegetado, Antes e Depois dos quatro eventos durante o ano de 2019.

Nos eventos um (EV1) e quatro (EV4) não houve variação significativa equitatividade de infauna ou epifauna (Student; $p > 0,4$; Mann-Whitney; $p > 0,1$; Fig. 16). No EV2 a equitatividade reduziu para a epifauna no PV (Mann-Whitney; $p = 0,01$) e para a infauna não houve variação (Fig. 16). No EV3 a equitatividade da infauna aumentou significativamente no PV (Student; $p = 0,003$; Fig. 16).

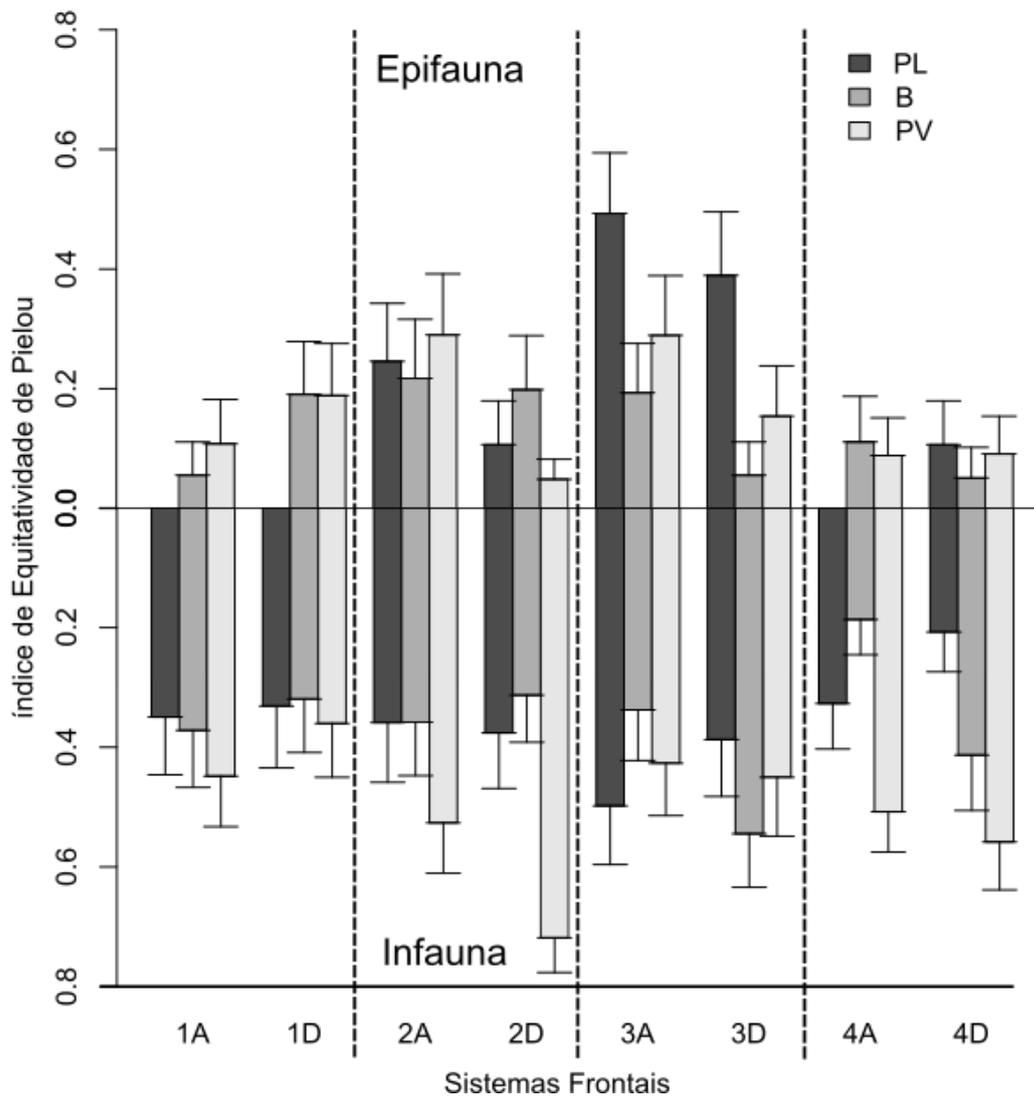


Figura 16. Equitatividade média (\pm EP) de organismos infaunais (eixo inferior) e epifaunais (eixo superior) no Plano Lamoso, Borda e Plano Vegetado, Antes e Depois dos quatro eventos durante o ano de 2019.

As nMDS evidenciaram, para todos os eventos, variação entre as assembleias macrozoobentônicas que habitam o Plano Lamoso (PL) *versus* as que habitam o Plano Vegetado (PV) (EV1: ANOSIM; $p = 0,001$; $R = 0,32$; EV2: ANOSIM; $p = 0,001$; $R = 0,4$; EV4: ANOSIM; $p = 0,001$; $R = 0,5$; Fig. 17). No EV4, apesar de haver significância na análise entre PV e PL, a formação de agrupamentos não foi consistente (ANOSIM; $R = 0,2$, $p = 0,001$; Fig. 17c). Considerando os períodos (Antes e Depois) dos eventos, foram encontradas diferenças significativas no PV somente no EV3, porém com R muito baixo, representando maior variabilidade entre as replicas das amostras do que entre os períodos do evento (EV3: ANOSIM; $R = -0,2$; $p = 0,02$; Fig. 17c). Para o EV2 no PL foi possível averiguar significância de teste e formação de grupos mais

consistentes para as assembleias pré e pós sistema frontal (ANOSIM; $p = 0,005$; $R = 0,32$; Fig. 17b).

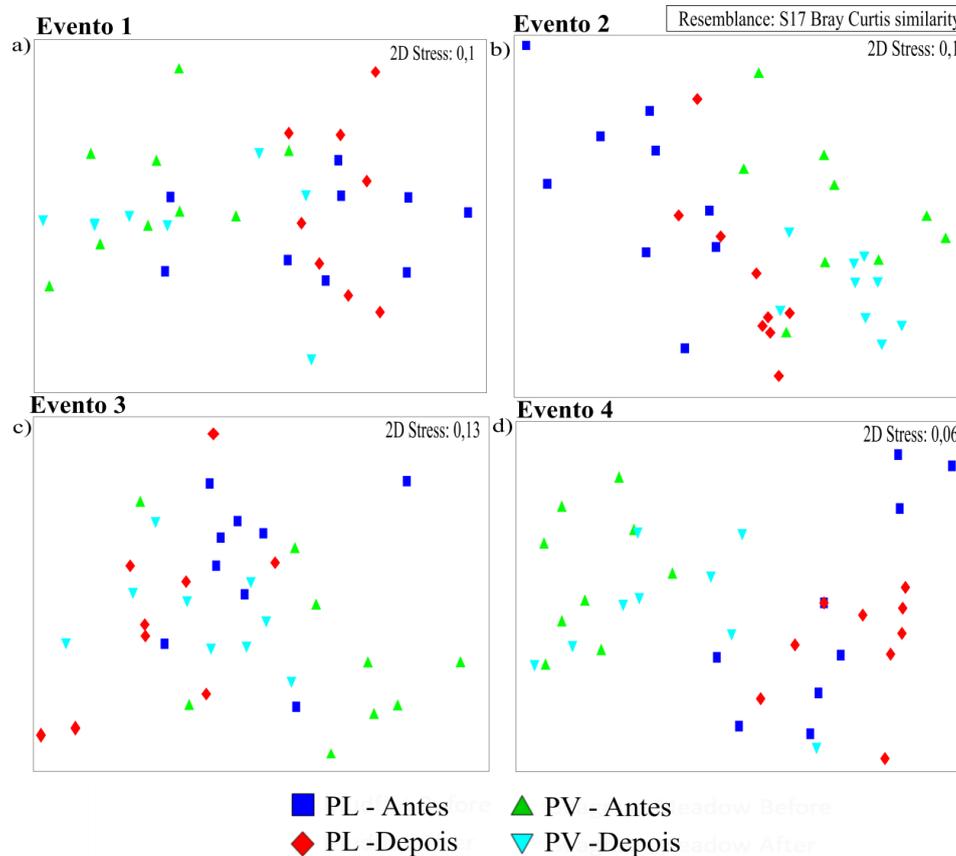


Figura 17. Escalonamento multidimensional, baseado na matriz de similaridade Bray-Curtis, das assembleias macrozoobentônicas nos evento um (a), evento dois (b), evento três (c) e evento quatro (d) no Plano Vegetado (PV- Antes = triângulo verde; PV – Depois = triângulo azul) e no Plano Lamoso (PL - Antes = quadrado azul; PL - Depois = losango vermelho).

Para o EV1, 15,24 % da variação total da epifauna foi explicada pelos eixos da CCA (ANOVA; $p = 0,002$) (Fig. 18a). O parâmetro que melhor explicou foi a profundidade (P) (ANOVA; $p = 0,001$), e o eixo um respondeu por 100 % da variabilidade (ANOVA; $p = 0,001$). O Plano Lamoso (PL) mostrou que a estrutura da sua assembleia, tanto Antes quanto Depois da passagem do SF, foi influenciada pela profundidade. A presença de Balanidae e *C. fluminensis* teve forte relação com a presença do PV e correlação negativa com a profundidade (P) que aumentou entre o PV e o PL, ou seja, para a epifauna no EV1 o fator espacial foi responsável pela estruturação das assembleias.

A infauna teve 19,76 % (ANOVA; $p = 0,001$) de sua variabilidade total explicada pelos eixos da CCA, sendo que o eixo um explicou 62,11 % (ANOVA; $p =$

0,002) e o eixo dois explicou 37,88 % (ANOVA; $p = 0,013$) (Fig. 18b). As variáveis resultantes foram a biomassa aérea de *R. maritima/ Z. palustris* (BRA) (ANOVA; $p = 0,001$) e a porcentagem de cobertura vegetal (COV) (ANOVA; $p = 0,014$). A variabilidade das assembleias no Plano Vegetado (PV) apresentou relação com as variáveis resposta enquanto no Plano Lamoso (PL) não houve forte relação.

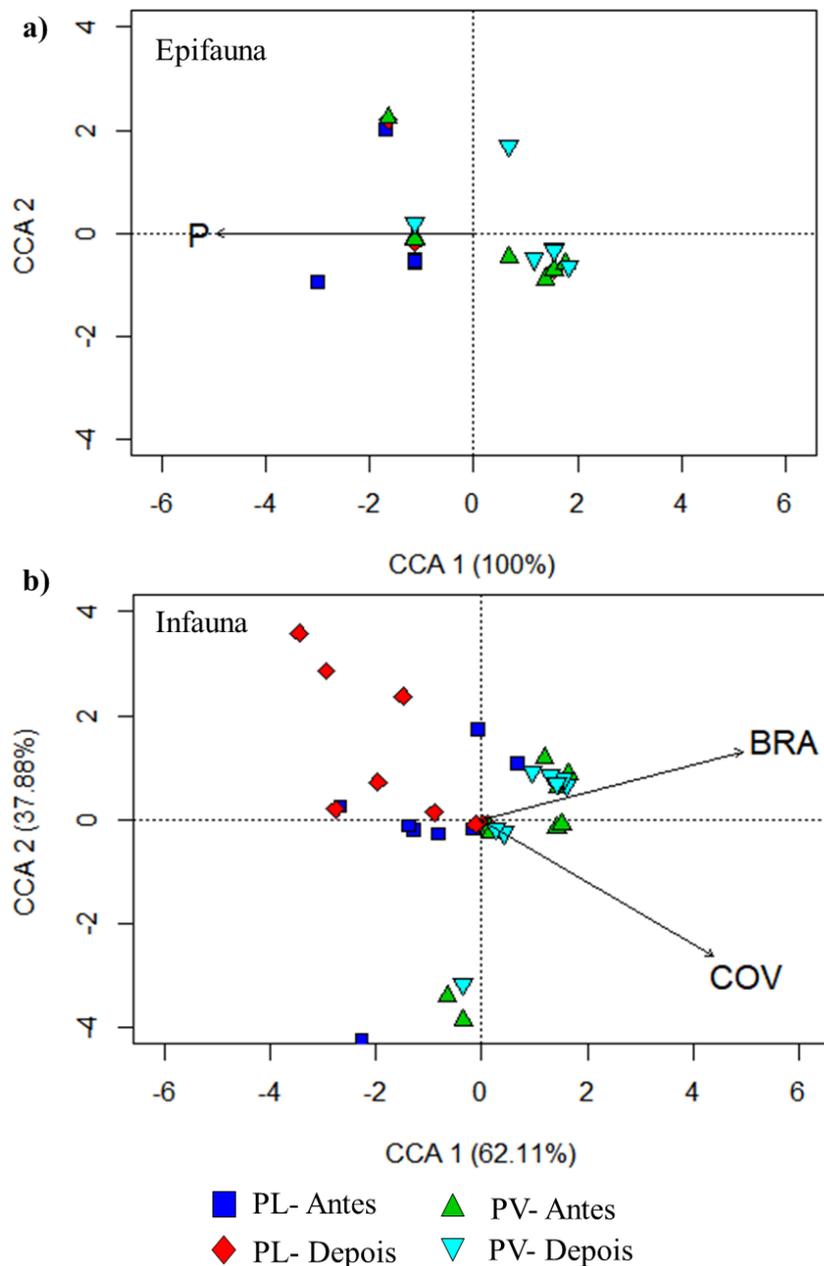


Figura 18. Análise de Correspondência Canônica para o evento um no Plano Vegetado e Plano Lamoso, Antes e Depois da passagem do sistema frontal para a epifauna (a) e infauna (b). P: Profundidade. BRA: Biomassa Aérea de *R. maritima/ Z. palustris*. COV: Porcentagem de Cobertura Vegetal.

De acordo com a CCA, a variabilidade da assembleia epifaunal do EV2 (Fig. 19a) teve como fatores condicionantes a direção do vento (DIR) (ANOVA; $p = 0,003$), a altura do dossel (HI) (ANOVA; $p = 0,002$) e a biomassa total aérea (BTA) (ANOVA;

$p = 0,003$). A variação total explicada pela CCA foi 26,6 % (ANOVA; $p = 0,001$), sendo que o eixo um explicou 69,96 % (ANOVA; $p = 0,001$) e o eixo dois explicou 22,89 % da variação (ANOVA; $p = 0,037$), ambas as variáveis relacionadas ao eixo dois. A constituição das assembleias epifaunais no Plano Lamoso (PL) Antes da passagem do SF teve interação com a biomassa vegetal aérea total (BTA) e com a direção dos ventos (DIR) predominantes de Sul. No PV a altura do dossel (HI) foi responsável pelos padrões encontrados Antes do SF. Depois da passagem do SF houve baixa explicação da variação da assembleia do epibentos pelas variáveis ambientais.

A infauna no EV2 (Fig. 19b) teve 14,55 % da sua variabilidade total explicada pelas variáveis ambientais (ANOVA; $p = 0,001$). O eixo um foi responsável por 63,45 % (ANOVA; $p = 0,001$) e o eixo dois por 36,54 % (ANOVA; $p = 0,02$). As variáveis que melhor responderam foram altura do dossel (HI) (ANOVA; $p = 0,001$) que se refere à variação espacial (CCA1), e salinidade (S) (ANOVA; $p = 0,009$) que variou temporalmente, entre Antes e depois (CCA2). Antes da passagem do SF a assembleia infaunal não mostrou explicabilidade de sua estruturação relacionada à altura do dossel (HI) e salinidade (S). Depois da passagem do SF a infauna do PV apresentou correlação com altura do dossel (HI) e salinidade (S), fator importante para presença do Polychaeta *P. pinnata*. A estruturação da infauna do PL, Depois do SF, foi explicada pela salinidade (S).

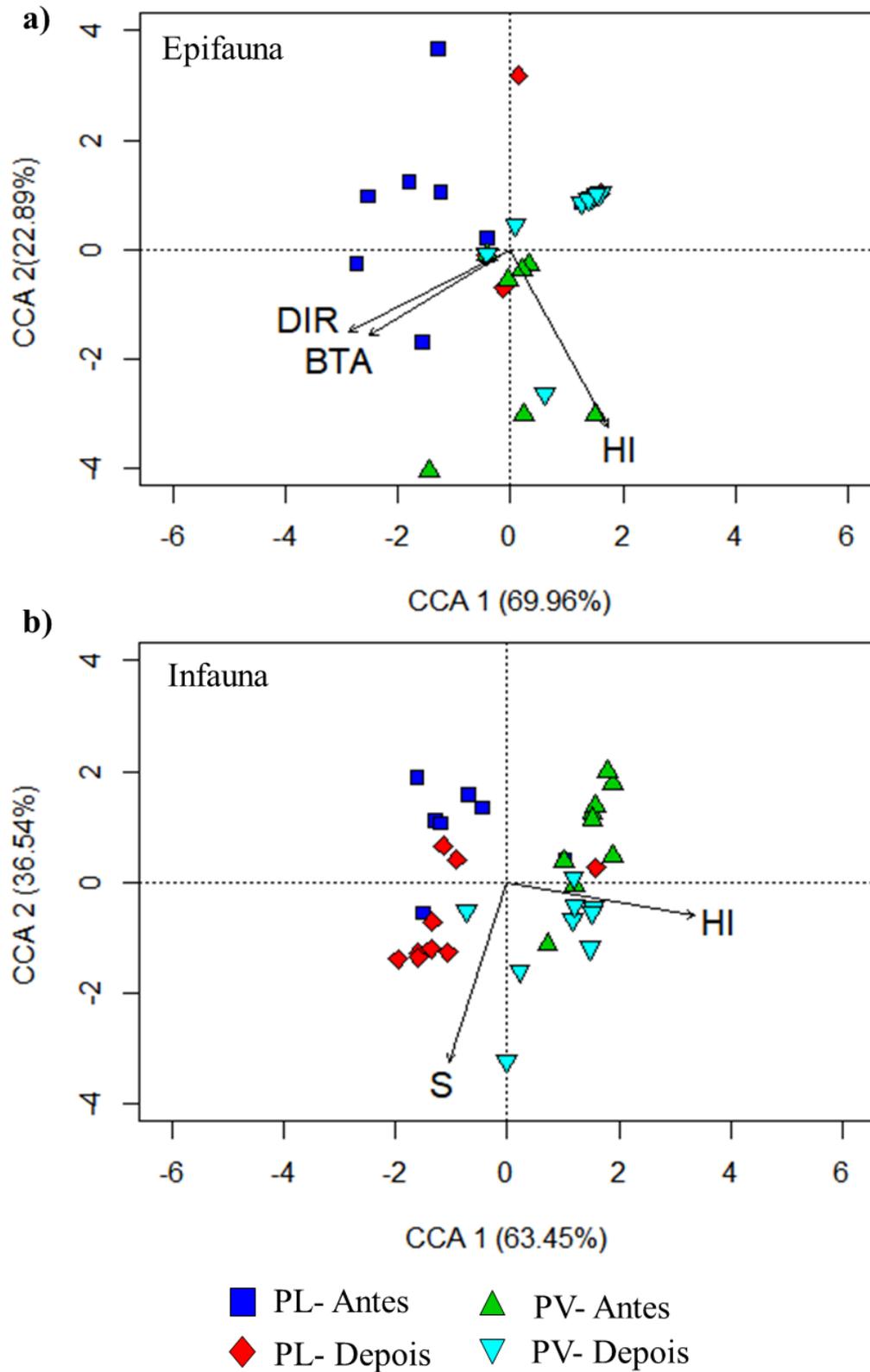


Figura 19. Análise de Correspondência Canônica para o evento dois em Plano Vegetado e Plano Lamoso, Antes e Depois da passagem do sistema frontal para a epifauna (a) e infauna (b). BTA: Biomassa Vegetal Total Aérea, DIR: Direção do Vento, HI: Altura do Plano Vegetado; S: Salinidade.

A CCA para a epifauna no evento três (EV3) (Fig. 20a) mostrou que 31,6 % (ANOVA; $p = 0,001$) da variabilidade total da assembleia foi respondida pelas variáveis ambientais. O eixo um foi responsável por 84,34 % (ANOVA; $p = 0,001$) e o eixo dois por 14,64 % (ANOVA; $p = 0,05$). As variáveis descritoras foram altura da pradaria (HI) (ANOVA; $p = 0,001$), relacionada ao eixo um e suas variações espaciais, e biomassa subterrânea de *R. maritima*/ *Z. palustris* (BRS) (ANOVA; $p = 0,05$), relacionada ao eixo dois. Para o Plano Lamoso (PL) tanto Antes quanto Depois da passagem do sistema frontal (SF) a variabilidade da assembleia epibentônica não teve relação com as variáveis. No Plano Vegetado (PV) Antes da passagem do SF a altura do dossel (HI) e a biomassa subterrânea de *R. maritima*/ *Z. palustris* (BRS) estiveram inversamente correlacionadas com a constituição das assembleias epifaunais. A presença de Hydrozoa esteve associada à PV Antes do EV3.

A constituição da assembleia de organismos infaunais foi 7,5 % explicada pela CCA (ANOVA; $p = 0,001$) (Fig. 20b). A variável que melhor explicou a variabilidade foi a porcentagem de cobertura vegetal (COV) (ANOVA; $p = 0,023$). O eixo um, logo a variação espacial, foi responsável por 100 % da variabilidade explicada (ANOVA; $p = 0,037$). Para o Plano Lamoso (PL) a cobertura vegetal não respondeu à variabilidade da assembleia Antes ou Depois da passagem do SF. A presença de *E. mactroides* foi mais bem explicada pela ausência de cobertura vegetal no PL, tanto Antes quanto Depois da passagem do SF. Para o PV a porcentagem de cobertura vegetal explicou a constituição da assembleia infaunal em ambos os períodos do EV3.

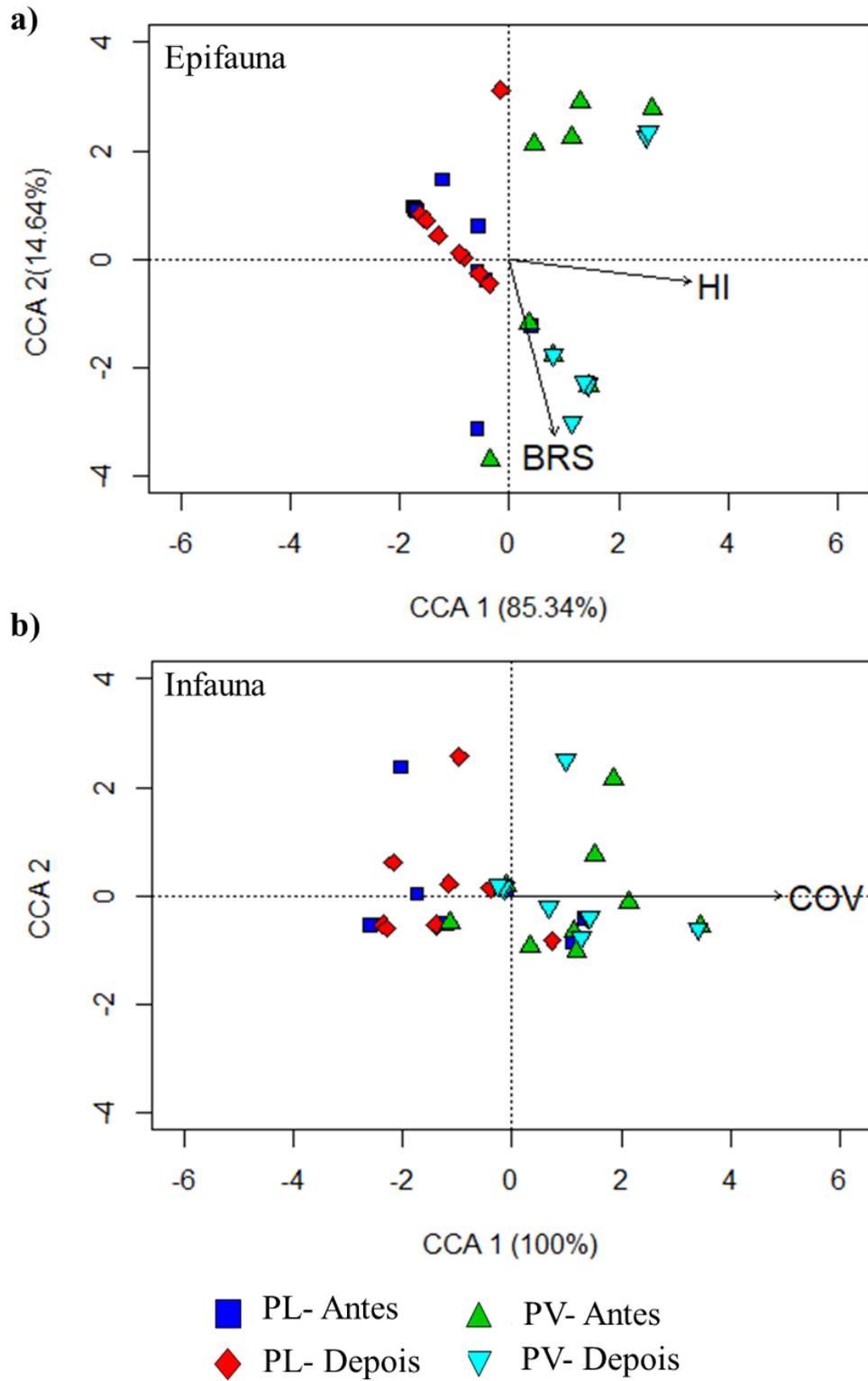


Figura 20. Análise de Correspondência Canônica para o evento três em Plano Vegetado e Planos Lamosos, Antes e Depois da passagem do sistema frontal para a epifauna (a) e infauna (b). HI: Altura do Plano Vegetado, BRS: Biomassa subterrânea de *R. maritima* e *Z. palustris*; COV: Porcentagem de Cobertura Vegetal.

As variáveis ambientais, durante o EV4, foram responsáveis por responder 32 % do total da variabilidade da assembleia do epibentos (ANOVA; $p = 0,001$) (Fig. 21a). O eixo um respondeu por 61,67 % da variabilidade (ANOVA; $p = 0,001$) e o eixo dois foi responsável por 16,88 % da variabilidade (ANOVA; $p > 0,05$). As variáveis com melhor relação foram temperatura da água (T) (ANOVA; $p = 0,001$), porcentagem de cobertura vegetal (COV), biomassa subterrânea total (BTS) (ANOVA; $p = 0,01$), (ANOVA; $p = 0,01$) e velocidade do vento (WIN) (ANOVA; $p = 0,02$). No EV4 não foi possível observar um padrão de agrupamento relacionado aos parâmetros ambientais das assembleias epifaunais de Antes ou Depois da passagem do SF, no Plano Lamoso (PL) ou no Plano Vegetado (PV).

A variabilidade da assembleia infauna, no EV4 (Fig. 21b), foi 15,51 % explicada pelas variáveis ambientais velocidade do vento (WIN) (ANOVA; $p = 0,001$), relacionada ao eixo um, e altura do dossel (HI) (ANOVA; $p = 0,009$), relacionada ao eixo dois e sua variação temporal, sendo que este modelo foi significativo (ANOVA; $p = 0,001$). O eixo um da CCA respondeu por 64,30 % da variabilidade (ANOVA; $p = 0,004$) e o eixo dois por 35,69 % (ANOVA; $p = 0,03$). As assembleias infaunais tanto de Plano Lamoso (PL) quanto de Plano Vegetado (PV) apresentaram maior afinidade com o fator espacial, em ambos os períodos da passagem do SF. Depois da passagem do SF, parte da estruturação da assembleia de PV foi explicada pela velocidade dos ventos (WIN) e altura do dossel (HI) em proporções semelhantes e distinguiu-se da assembleia de Antes da passagem do SF e do PL.

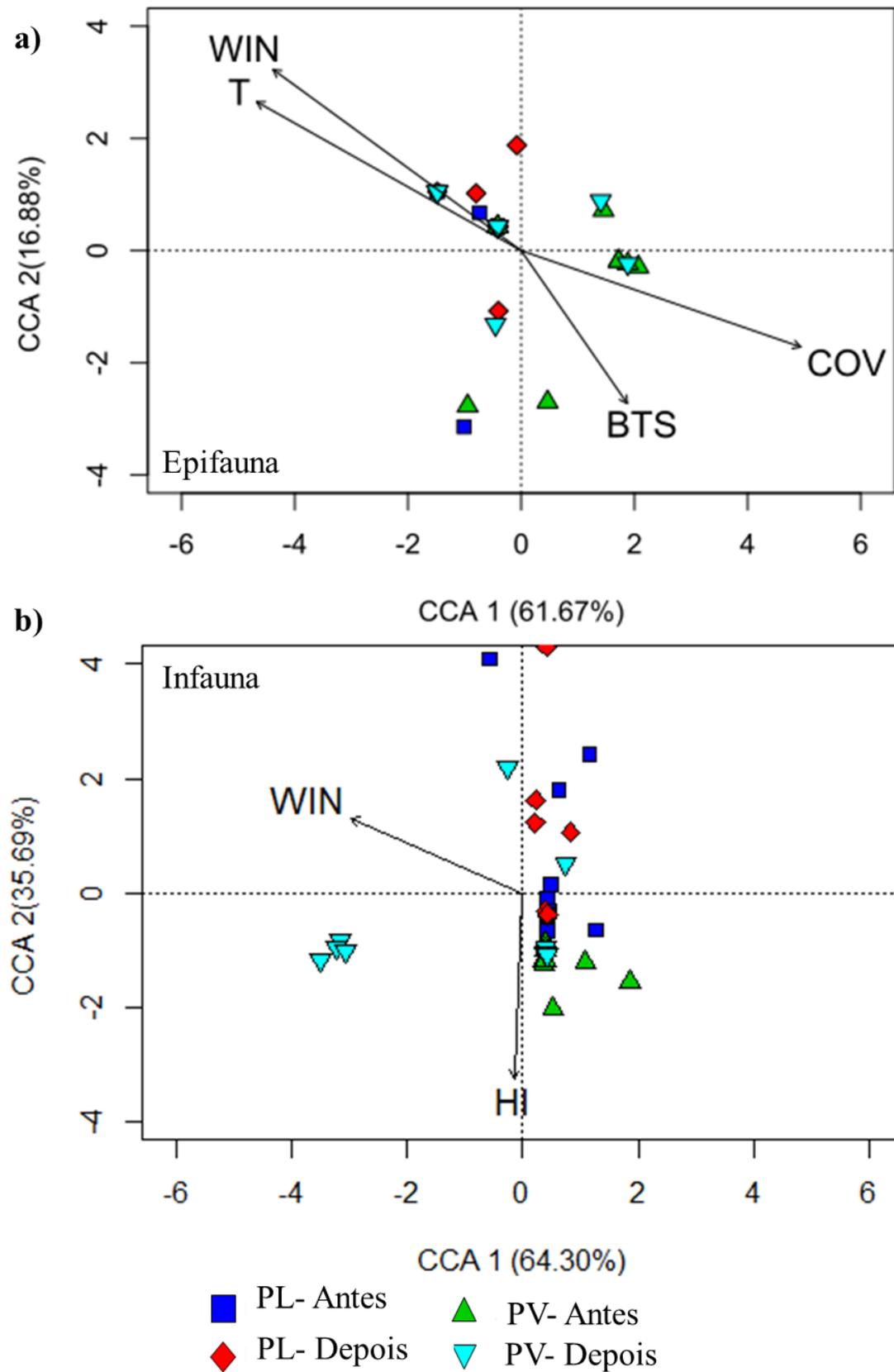


Figura 21. Análise de Correspondência Canônica para o evento quatro em Plano Vegetado e Planos Lamosos, Antes e Depois da passagem do sistema frontal quatro para a epifauna (a) e infauna (b). T: Temperatura, BTS: biomassa subterrânea total, COV: Porcentagem de Cobertura Vegetal, WIN: Velocidade do Vento; HI: Altura do Plano Vegetado.

4. DISCUSSÃO

4.1 Os ambientes ao longo do ano

A investigação das relações entre eventos atmosféricos, parâmetros da coluna d'água, estrutura sedimentar, composição e dinâmica da vegetação submersa, e da macrofauna bentônica evidenciou diferentes cenários relacionados às estações do ano. A composição sedimentar do substrato foi homogênea, com pequenas variações da seleção e MO, inerentes aos eventos. A pradaria apresentou maiores cobertura e diversidade nos EV1 e EV2, de verão e outono. Nos EV3 e EV4 (inverno e primavera), concomitante à menor cobertura vegetal, houve a maior densidade e diversidade da macrofauna bentônica e as maiores porcentagens de MO. Houve distinta estruturação espacial das assembleias da macrofauna, principalmente entre o Plano Vegetado (PV) e Plano Lamoso (PL).

O ELP é considerado um típico sistema dominado por rios (Moller Jr et al. 1996, Moller et al. 2001). Quando há baixa vazão dos tributários, os efeitos combinados de ventos locais (tensão superficial) e remotos (maré meteorológica) influenciam a hidrodinâmica estuarina (Moller et al. 2001). Portanto os cenários mesohalinos nos EV1 e EV2, oligohalinos no EV3 e límnicos no EV4, segundo classificação de Beadle (1958), refletem os períodos de menor/maior descarga fluvial e intensidade de ventos Sul. As temperaturas das águas das enseadas rasas do ELP tem maior relação com a temperatura atmosférica local e suas variações sazonais (Zanotta et al.2010). Desta forma é possível observar que os cenários de temperatura e salinidade são resultados das forçantes sazonais, que ditam as condições para o recrutamento, estabelecimento e sobrevivência do zoobentos e fitobentos (Little & Little 2000).

As pradarias submersas são ambientes com seleção de grãos mais pobre, por atuarem como armadilhas sedimentares (Kenworthy et al. 1982, Orth 1992). Já os planos areno-lamosos, por serem mais lavados, deveriam possuir melhor seleção (Dyer 1979). Embora essa diferença fosse esperada, a constituição sedimentar não diferiu daquela encontrada regularmente nos planos rasos do ELP, onde os grãos classificam-se como areia muito fina pobremente selecionada a muito bem selecionada (Rosa & Bemvenuti 2006, Araújo 2011, Oliveira 2015). Um experimento realizado com *Zostera noltii* Hornemann, 1832 mostrou que o fator sazonal tem grande influência sobre a composição sedimentar, visto que o período de maiores densidades de vegetação há o

aprisionamento de grãos mais finos, que são perdidos no período de senescência da pradaria (Ganthy et al. 2015). Logo, a presença ou ausência do dossel deveria atuar na regulação das taxas de erosão e deposição, e conseqüentemente nas características sedimentares (Ganthy et al. 2015). Além da sazonalidade, a ausência de diferenças entre ambientes (PV, PL, B) pode ter relação com a constante ação local dos ventos, nas regiões rasas, que causam ressuspensão e remobilização de sedimentos finos para regiões mais profundas (Antiqueira & Calliari 2005, Green 2011).

Os percentuais de matéria orgânica (MO), encontrados no presente estudo, também são equivalentes aos previamente reportados para os planos rasos do ELP. Valores de MO abaixo de 2 % foram registrados no Saco do Justino (Soares et al. 2004), assim como em planos arenosos próximos (Saco do Arraial) de profundidades menores de 1 m (Colling et al. 2007). O aumento dos teores após o EV2 (maio) podem ter relação com o acúmulo de detritos orgânicos gerados nos períodos de senescência das pradarias submersas (Seliger 1998, Da Silva & Asmus 2001), transporte e/ou com o *input* continental (Sampere et al. 2008). A ausência de estoques significativos de MO nos sedimento superficiais, como observado em outras lagunas costeiras e estuários (Koepler et al. 1993), pode estar relacionado à hidrodinâmica do ELP, promovendo remobilização sedimentar nas áreas rasas, exportação dos detritos, e o consumo por organismos que constituem a pradaria (Da Silva & Asmus 2001).

Para as fanerógamas marinhas, temperatura, salinidade e MO estão entre os fatores responsáveis pela diversidade e expansão da pradaria (Copertino & Seeliger 2010). A pradaria do Saco do Justino é multiespecífica, dominada pela fanerógama eurihalina *R. maritima*, com ocorrência de *Z. palustris*, oligohalina, e *P. striatus*, límnic (Copertino et al. 2016). A dominância de *R. maritima* pode estar associada à estratégia de vida oportunista e resiliência da espécie (Verhoeven 1980), que possui larga tolerância à variação de salinidade (Murphy et al. 2003, La Peyre & Rowe 2003), dessecação (Richardson 1980, Seeliger 1989), variações de temperatura (Richardson 1980, Evans et al. 1986) e luminosidade (Colares & Seeliger 2006). Desta forma, a presença de *R. maritima*, e principalmente de sua biomassa subterrânea, a qual garante o crescimento vegetativo (Asanopoulos & Waycott 2020), pode ter resultado na resiliência da pradaria submersa mesmo após prolongado cenário de alta turbidez, baixas salinidade e temperatura observados entre os EV3 e EV4.

A estrutura da assembleia bentônica do presente estudo, composta por 20 *taxa*, foi semelhante ao reportado por Colling (2007), Colling (2011) e Bemvenuti & Colling (2010b), para os planos areno-lamosos da Ilha das Pombas, porém superior aos 12 *taxa* reportados por Rosa & Bemvenuti (2007) para a área vegetada da Ilha das Pombas e aos oito *taxa* encontrados por Lanari et al. (2018), associados à vegetação submersa. Na Ilha das Pombas, apesar de Rosa & Bemvenuti (2007) encontrarem grandes densidades do macrozoobentos, a complexação de habitat não foi responsável por aumentos na diversidade e equitatividade. O presente estudo diferencia-se dos anteriores pela ocorrência de *Paraprionospio pinnata* Ehlers, 1901, Balanidae, Hydrozoa e *Cassidinidea fluminensis* Mañe-Garzón, 1944. A ocorrência de espécies sésseis e epifaunais tem relação com a presença de vegetação como observado na pradaria de Laguna Rocha, no Uruguai, onde houve a dominância de *H. australis* e ocorrência de *C. fluminensis* (Arocena 2007, Arocena & Rodriguez 2011).

Ao longo do ano houve a dominância de organismos infaunais. A presença da vegetação é colocada como um fator importante para o macrozoobentos, por gerar substrato de fixação (Boström & Bonsdorff 1997), aprisionamento de sólidos em suspensão e MO (Fredriksen et al. 2010), e modificação da composição sedimentar (Stoner 1980, Bostrom & Bonsdorff 2000), como resultado da atenuação da energia de onda (French & Moore 2018, Reidenbach & Thomas 2018). Apesar de muitas dessas características não terem sido alteradas entre os ambientes, apesar da presença de vegetação no PV, a infauna respondeu com elevadas densidades à presença da vegetação. Webster et al. (1998) destacam a importância indireta da vegetação acima do solo na manutenção das assembleias infaunais, no estuário de Yealm (Reino Unido), enquanto Fredriksen et al. (2010) apontam a expansão do sistema radicular como fator direto na percolação de água, oxigênio e nutrientes. A diversidade da epifauna, segundo Boström & Bonsdorff (1997) e French & Moore (2018), deveria ser positivamente afetada pelas altas densidades de fanerógamas marinhas e a altura do dossel no verão, no presente estudo, porém, foi observado o aumento da diversidade e densidade no período de senescência da pradaria, no EV3, provavelmente relacionado à plasticidade alimentar dos organismos.

Além da menor diversidade bentônica abaixo dos trópicos (Barnes & Ellwood 2012), a sazonalidade mostrou-se um importante fator estruturador das assembleias. Esta, além de estar relacionada com os períodos de expansão vegetativa e sexuada da

pradaria, abrange os períodos de assentamento e recrutamento do bentos, estando as mais altas biomassas do dossel negativamente relacionadas às densidades e diversidade do macrozoobentos. Estes resultados corroboram com o observado em pradarias subtropicais do Uruguai onde as maiores densidades de organismos ocorreram no inverno (Arocena & Rodriguez 2011). Estudo anterior no ELP, entretanto, mostrou maiores densidades macrozoobentônicas no verão e primavera (Rosa & Bemvenuti 2007), assim como nas pradarias subtropicais da Baía de Knysna (Barnes & Claassens 2020). Włodarska-Kowalczyk et al. (2014) também evidenciaram a dependência sazonal entre o macrozoobentos e a pradaria temperada, no Mar Báltico, porém houve efeitos positivos da presença de vegetação na densidade e biomassa de invertebrados, durante o verão e o outono. Em pradarias tropicais, no estuário do Rio Sungai Pulai (Malásia), a tendência sazonal do bentos não foi observada, dada a constante produção de biomassa vegetal e baixa variabilidade climática (Zaleha et al. 2009).

As densidades e diversidade do zoobentos foram inversamente proporcionais ao aumento da complexidade de habitat. Além dos períodos sazonais de recrutamento e reprodução do bentos, da pradaria e do *input* de MO, as baixas densidade e diversidade do bentos no verão podem ter relação com a presença de predadores e a morfologia da pradaria. A hipótese de pressão de predação se faz possível pela presença de juvenis de *Callinectes* sp., *Cyrtograpsus* sp. e peixe durante o EV1, que são predadores e podem manter um controle *top-down* na estrutura das assembleias macrobentônicas (Sheridan & Livingston 1983). Bologna & Heck (2002) e Orth et al. (1984) atribuem maior efeito de pressão de predação em dosseis fragmentados, como no ELP, que permitem maior deslocamento dos predadores e conseqüentemente a regulação do número de presas presentes.

A alta densidade vegetal gera limitação da dispersão larval, causando o efeito de sombreamento de assentamento ou efeito de borda (Boström et al. 2010; Orth 1992). Logo, poderia se inferir, no presente estudo, a ocorrência de um efeito de borda após o período de recrutamento do bentos e da senescência do dossel, gerando aumento das densidade bentônicas nas Bordas (B), porém a estrutura da pradaria e o fato das coletas estarem atreladas a eventos climáticos estocásticos torna este efeito incerto. Estudos realizados com foco no efeito de borda, na Austrália e na Inglaterra, atribuem a maior variabilidade da assembleia aos eventos estocásticos e à estrutura da assembleia (Bowden et al. 2001, Tanner 2005). Já Bologna & Heck (2002) encontraram efetivo

efeito de borda em pradarias multiespecíficas no Golfo do México. Diante da incerteza, há necessidade de pesquisas com foco no efeito de borda para o macrozoobentos das pradarias submersas do ELP.

No próximo item, com base na caracterização dos ciclos sazonais de 2019 e sua influência nos descritores bióticos e ambientais utilizados, discutiremos as variações de curto prazo na estrutura das assembleias macrozoobentônicas, pradaria e sedimentos, para cada evento individualmente.

4.2 Os eventos de curto prazo

A ocorrência dos sistemas frontais (SF) gerou variações ambientais que foram proporcionais à intensidade dos eventos meteorológicos e, principalmente, à complexidade do habitat, a exemplo do que foi averiguado em estudos anteriores nos EUA (Davis et al. 2004, Anton et al. 2009). Os EV1 e EV2 apresentaram poucas modificações na profundidade ou salinidade, sugerindo que a ação dos ventos locais do quadrante Sul foram as responsáveis pelas variações na composição sedimentar, nas características do dossel de macrófitas marinhas e na comunidade zoobentônica. A atuação dos ventos remotos nos EV3 e EV4 parecem ter tido mais importância do que a dos ventos locais, em concomitância com o grande aporte fluvial, que gerou grandes amplitudes de profundidade.

Embora fosse esperado a ocorrência de erosão e transporte dos sedimentos, gerados pelas ondas resultantes dos ventos, as características sedimentares foram pouco variáveis. Apenas no Plano Lamoso (PL) Depois do EV2 foi possível verificar a piora da seleção dos grãos, que pode ter sido gerada pela redistribuição de sedimentos para as áreas desprotegidas, como visto após a passagem do Furacão Ivan no Rio Mississipi (Sampere et al. 2008). Segundo Lawson et al. (2007) este fluxo sedimentar em lagunas costeiras com baixo aporte fluvial, é fortemente influenciado pelos ventos. Isso se dá pela formação de ondas, pelos ventos que ressuspendem e transportam sedimentos, atuando na turbidez das águas e disponibilidade de luz (Lawson et al. 2007). Mesmo sendo uma laguna dominada por rios (Moller Jr et al. 1996, Moller et al. 2001), principalmente no inverno (EV3), o ELP mostrou constante influência dos ventos, talvez por ser dominado por planos rasos (Calliari et al. 2010).

Os detritos vegetais e MO são importantes recursos alimentares para a manutenção das cadeias tróficas no ELP (Abreu et al. 2006). Desta forma a produção

de maior biomassa vegetal nos meses quentes e o fornecimento de material detrítico (Kenworthy et al. 1982), no período em que as macrófitas aquáticas são fragilizadas pela colonização de epífitas e senescência (Da Silva & Asmus 2001), é de suma importância para manutenção dos estoques de MO. A MO produzida e depositada nas pradarias pode ser ressuspensa e transportada pelo efeito dos ventos dos SF e tempestades (Velimirov 1987). Logo, os eventos meteorológicos podem ser responsáveis pelo aumento da porcentagem de matéria orgânica (MO) na Borda (B) e no Plano Lamoso (PL), Depois do EV2. Ocorrências semelhantes, de *input* de MO, foram registradas após a passagem do furacão Irene, na Flórida (EUA), onde o aumento dos detritos modificou a constituição do sedimento e da coluna d'água das adjacências de fundos vegetados (Davis et al. 2004).

As mudanças observadas nos parâmetros vegetais altura, biomassa e porcentagem de cobertura, após a passagem dos SF, estiveram diretamente relacionadas com a intensidade dos eventos meteorológicos e a idade/saúde das macrófitas. O aumento da biomassa vegetal e porcentagem de cobertura observados durante EV1 e EV4, estão de acordo com o período de crescimento das pradarias vegetadas do ELP (Cafruni et al. 1978). Este crescimento vegetativo é possível pelo fornecimento de condições de luz, salinidade e temperatura ótimas, durante o verão, como observado no ELP (Colares & Seeliger 2006) e em dois estuários do Sul do Texas (Dunton 1990). A redução na altura das fanerógamas no PL, no EV1, bem como os declínios nos demais eventos, podem ser decorrentes da fragmentação e quebra devido à perturbação causada pelo vento.

A redução da biomassa e cobertura vegetal nos EV2 e EV3 podem estar relacionados à fragilidade da vegetação devido à disponibilidade de nutrientes (El Allaoui et al. 2016), à idade das folhas (período de senescência do dossel), à presença de epífitas (van Montfrans et al. 1984) e à inibição da germinação pelas baixas temperaturas (Da Silva & Asmus 2001). No EV2 foi observada grande quantidade de algas epífitas e, ao longo do estudo, baixa densidade de epibentos pastador. Esses herbívoros são fundamentais para a redução do efeito de sombreamento gerado pelas algas filamentosas (Schanz et al. 2002, Ebrahim et al. 2014) melhorando a saúde da vegetação. Além disso, a presença de vegetação de deriva, no EV2, é um forte indicativo de que os ventos podem ter causado a erosão, arrancamento e desfolhação da vegetação (Preen et al. 1995, Da Silva & Asmus 2001, Donatelli et al. 2019). Foi

observado em pradarias de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile 1813, no Mediterrâneo, que a ação dos ventos durante tempestades gera a fragmentação e o soterramento da vegetação em planos rasos de forma súbita e extensa, porém não permanente (Gera et al. 2014). Desta forma, apesar de ameaçada pelo aquecimento global e maior ocorrência de eventos extremos as pradarias, até mesmo no Saco do Justino, têm possibilidade de regenerar-se, a longo prazo.

As assembleias epifaunais e infaunais, durante o EV1, não foram afetadas pelo SF, provavelmente pela estabilidade gerada pela estrutura do dossel (vegetação aérea). As fanerógamas marinhas atuam, segundo a Teoria de Facilitação de Bertness & Callaway (1994), melhorando as condições de sobrevivência de espécies vizinhas, principalmente em ambientes estressantes, como observado para pradarias marinhas onde há constante atuação da hidrodinâmica (Meysick et al. 2019). Resultados semelhantes aos apresentados no EV1 foram observados após a passagem do Furacão Katrina no Golfo do México, que atribuem a ausência de impactos no macrozoobentos à alta biomassa vegetal (Anton et al. 2009). Esta atenuação foi resultado da grande altura e densidade do dossel no EV1, que dissipou em aproximadamente 50 % a energia de onda, promovendo ambientes mais abrigados (Ward et al. 1984, Reidenbach & Thomas 2018). Todavia, mesmo no PL não ocorreram distúrbios para a fauna. Negrello-Filho & Lana (2013) ao avaliar o efeito de tempestades na Baía de Paranaguá (PR), também, não evidenciaram impactos significativos sobre a abundância e diversidade da macrofauna. Segundo os autores, a ausência de variações pode estar relacionada ao período entre as coletas (5 a 8 dias). Logo, o poder de reestruturação do bentos, que pode iniciar horas após a perturbação (Bell & Devlin 1983, Gallucci & Netto 2004), responde a ausência de variações da composição e estrutura da assembleia.

Para os planos rasos do ELP existe registro da presença de cinco gêneros de isópodes *U. peterseni*, *Sphaeromopsis mourei* (Loyola e Silva, 1960), *Kupellonura* sp. Barnard, 1925, *Pseudosphaeroma* sp. Chilton, 1909. e *C. fluminensis* (Soares et al. 2004, Rosa & Bemvenuti 2006, 2007, Colling et al. 2007). *C. fluminensis* havia sido anteriormente registrado no ELP junto à cultura de *Farfantepenaeus paulensis* (Pérez Farfante, 1967) (Soares et al. 2004). No presente estudo, o isópode esteve associado a grandes biomassas vegetais, em cenários mesohalinos, correspondendo ao hábito da espécie (Würdig & Silva 1990, Albertoni et al. 2001). Ainda, segundo Arocena & Rodriguez (2011) *C. fluminensis* apresenta grande afinidade com a pradaria

multiespecífica presente em Laguna Rocha (Uruguai), corroborando com o visto neste estudo.

As características da vegetação não favoreceram apenas o recrutamento da epifauna móvel, mas também o estabelecimento da sésil (Hydrozoa e Balanidae). Convém ressaltar que este substrato não é perene, logo o tempo de vida e o tamanho dos organismos sésseis, como as cracas *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854), estão condicionados à variação sazonal e às características morfológicas da vegetação. O Hydrozoa encontrado, predominantemente no PV e B, a priori, morfológicamente, aparenta ser da espécie exótica invasora *Cordylophora cáspia* Pallas, 1771, provinda do Mar Cáspio e Negro (Gutierre 2012, Teixeira & Creed 2020). Esta espécie já foi registrada para região Sul e Sudeste do Brasil e Argentina, neste último associado aos talos da macrófita aquática *Ceratophyllum demersum* L. (Migotto et al. 2002, Deserti et al. 2015). Embora recente estudo tenha registrado a ocorrência de hidrozoários no ELP, a espécie não foi registrada (Teixeira-Amaral et al. 2020). A introdução deste organismo, porém, é provável, devido à atividade portuária, incrustação e/ou água de lastro (Gutierre 2012).

Boström & Bonsdorff (2000) observaram, em pradarias de *R. maritima* no Mar Báltico, que distúrbios meteorológicos podem gerar dominância de espécies. No presente estudo, em decorrência do EV2, as diversidade e equitatividade da epifauna foram reduzidas no Plano Vegetado (PV). Essa dominância, de acordo com Wolff et al. (1977), se dá pela transição entre organismos de estratégias r e K, uma vez que organismos r estrategistas podem aclimatar-se mais rapidamente e sobreviver para explorar os recursos disponíveis (Wilson 2009). Logo, a dominância de *H. australis*, *H. charruana* e *Heleobia* sp., nos três ambientes investigados, Depois do SF, pode ser consequência do distúrbio meteorológico e estratégia de vida oportunista dos organismos (Lana 1986, Neves et al. 2011) que favorece o uso dos recursos disponíveis.

O aumento da densidade e diversidade da infauna bentônica nos EV2 e EV4, podem ter razões similares às observadas na Baía de Niantic (EUA), após a tempestade David, onde o transporte do bentos através na coluna d'água evidenciou a maior contribuição para a recolonização quando comparado ao transporte ativo ou larval (Dobbs & Vozarik 1983). O processo ocorre a partir da ressuspensão dos organismos junto ao sedimento, transporte através da coluna d'água e reassentamento em outra área

(Turner et al. 1997) contribuindo, também, na recolonização de áreas defaunadas (Negrello Filho et al. 2006). De acordo com Barnes (1998), em estudo nos planos lamosos da Baía de Cockle (Inglaterra), em virtude das variações das marés e hidrodinâmica causadas por distúrbios meteorológicos, os organismos podem se deslocar cerca de $0,5 \text{ m.dia}^{-1}$. Este movimento *post-settlement* de juvenis e adultos é um importante estruturador da dinâmica das comunidades estuarinas (Sconfiatti et al. 2003) e na presença de *source-pools* adjacentes, como as pradarias, o processo tende a ser mais eficiente (Bostrom & Bonsdorff 2000) dado ao constante suprimento de juvenis (Lundquist et al. 2006).

No ELP, o transporte de larvas através da coluna d'água pode ser gerado pela vazão do Norte do estuário, o qual é um importante fator para o recrutamento de *E. mactroides* nos planos rasos (Tavares 2016). O aumento da vazão dos tributários no período anterior ao EV2 potencializou o recrutamento dos juvenis de *E. mactroides*. Entretanto, o recrutamento registrado é menos expressivo do que o pós-*El Niño* de 2002/2003, quando densidades de até $14.000 \text{ indiv.m}^{-2}$ ocorreram em planos rasos não vegetados (Colling et al. 2007). Estes baixos valores podem ter relação com a restrita hidrodinâmica da enseada do Saco do Justino (Jordão 2008) e com a presença da vegetação, visto que segundo Arocena (2007) e Arocena & Rodriguez (2011) esta espécie de bivalve possui maior afinidade com fundos não vegetados.

A disponibilidade de alimentos (detritos e MO), assim como visto para os aumentos de densidade no panorama anual e da dominância para a epifauna, pode ser responsável pelo aumento da densidade e diversidade da infauna no EV2. Isso é evidenciado através dos aumentos, concomitantes aos maiores teores de MO, do Capitellidae *H. similis*, dominante no ELP (Bemvenuti 1997), e *Capitella capitata* (Fabricius, 1780). Esta família é caracterizada por organismos comedores de depósitos, oportunistas, de rápida colonização e grande capacidade de escavação, além de tolerantes à movimentação do substrato (Dauer 1984). O Nereididae *L. acuta*, detritívoro das camadas superficiais do sedimento (Bemvenuti 1997), e o suspensívoro *P. pinnata*, também responderam positivamente ao aumento da MO. O Polychaeta *P. pinnata*, na ausência de detritos suspensos, aclimata-se para alimentar-se de detritos depositados através de um comportamento conhecido como *arching* (Dauer et al. 1981). Diante disso a plasticidade alimentar do bentos parece ser um fato importante para a resiliência das assembleias do ELP.

A passagem do EV3 mostrou evidente perturbação da assembleia macrozoobentônica, quando comparada aos EV1 e EV2, gerando redução das densidades da infauna em todos os ambientes. O período foi caracterizado por um substrato pouco complexo e menos diverso quanto ao fornecimento de proteção e recursos alimentares à biota, devido à senescência do dossel (Cafruni et al. 1978). Segundo Turner et al. (1999), em estuários da Nova Zelândia, o aumento da perturbação física dos sedimentos superficiais em locais rasos esparsamente vegetados gera o enterramento ou transporte dos organismos macrozoobentônicos superficiais e a sobrevivência de organismos com maior habilidade de escavação. No presente estudo foi possível averiguar que a maior parte dos organismos habitam os primeiros 0,1 m do sedimento, com dominância de *H. similis* abaixo desta profundidade. Nos planos arenolamosos do ELP durante o inverno, há maior ocorrência de eventos de erosão e acreção sedimentar, com variações de mais de 0,1 m e tendências deposicionais (Colling 2007). Logo, podemos inferir que estes processos sedimentares possivelmente tenham soterrado os organismos causando mortalidade e queda da densidade. Episódios de mortalidades devido ao soterramento já foram registradas no ELP, com o suspensívoro *E. mactroides* após eventos de deposição de sedimentos finos no baixo estuário (Bemvenuti 1997, Colling et al. 2010).

O aumento da mortalidade provoca, em geral, a redução da diversidade e densidade de organismos bentônicos, como visto na Baía de Chesapeake (EUA) após a tempestade tropical Agnes, com eliminação de espécies devido à anoxia (Boesch et al. 1976). Balthis et al. (2006) ao avaliar a passagem de três furacões consecutivos (Dennis, Floyd, e Irene), na costa leste dos EUA, observou que a anoxia e diminuição da salinidade causaram reduções na abundância, diversidade e aumento na dominância de espécies oportunistas, como o Polychaeta *Mediomastus ambiseta* (Hartman, 1947). Engle et al. (2009), dois meses após a passagem do furacão Katrina no Golfo do México, observaram quedas na diversidade e abundância do bentos. Todavia, no EV3 a infauna teve aumento de diversidade e equitatividade que, talvez, seja influenciada pela presença da vegetação aquática em outros pontos do Saco do Justino, atuando como *pool* de espécies no transporte passivo.

A epifauna sofreu redução nas densidades somente no Plano Vegetado (PV), no EV3. Além disso, este descritor esteve negativamente correlacionado com a biomassa aérea do dossel. Esta perda tem estreita relação com o declínio da biomassa e

diversidade das macrófitas aquáticas, além de ressaltar a abundante presença do gastrópode detritívoro, oportunista, *Heleobia* sp. especialmente no Plano Lamoso (PL). As espécies deste gênero possuem grande plasticidade alimentar, podendo atuar como raspadores/pastadores de algas epífitas associadas a vegetação (Arocena 2007, Canepuccia et al. 2007), porém sua guilda trófica prioritária é como comedor de depósitos (Neves et al. 2011). Desta forma, é uma espécie comum em fundos rasos estuarinos não vegetados do Sul do Brasil (Bemvenuti 1997, Netto & Lana 1997). Convém ressaltar que a grande densidade de conchas vazias, encontrada, em relação ao número de animais vivos sugere altas taxas de mortalidade (Lana 1986). A baixa diversidade das enseadas rasas do ELP (Rosa & Bemvenuti 2007), juntamente com uma série de propriedades relacionadas à alta adaptabilidade e resiliência, geram a ocorrência de muitas espécies oportunistas, que compõem o cenário de alto grau de dominância observado.

As perdas significativas de densidade vegetal no inverno (EV3), quando comparada à robusta pradaria encontrada ao verão (EV1), e as consequências observadas pós-sistemas frontais evidenciam o quão frágeis e expostos tornam-se os planos rasos sem vegetação. A importância das pradarias para o bentos é vista em vários sistemas aquáticos e fica mais evidente quando sofrem alterações catastróficas ou induzidas. A presença de macrófitas aquáticas invasoras em estuários, por exemplo, apresenta, em geral, efeitos positivos para o macrozoobentos, afetando desde a disponibilidade de espaço para ocupação até a qualidade físico-química da água (Schultz & Dibble 2012). Já a remoção total de uma pradaria de *Zostera marina* Linnaeus, 1753, no Mar Báltico, diminuiu significativamente a riqueza de espécies de invertebrados bentônicos e as densidades (Herkül & Kotta 2009). Em áreas transplantadas da Laguna Veneza (Itália) houve mudanças induzidas em toda a comunidade bentônica (Pranovi et al. 2000). Em Waitemata Harbour (Nova Zelândia) o monitoramento da recolonização natural da pradaria, durante 15 anos, mostrou aumento da riqueza e abundância da macrofauna com a expansão do dossel, bem como o *feed-back* com a região não vegetada adjacente, que possuía as mesmas espécies, mas abundâncias menores (Lundquist et al. 2018). A vegetação mostrou-se de suma importância para a estruturação das assembleias bentônicas do Saco do Justino, ao longo do estudo, gerando complexação de habitat, atenuando o efeito de eventos meteorológicos que causaram perturbação hidrológica e sedimentar e disponibilizando recursos alimentares.

5. CONCLUSÕES

As assembleias do macrozoobentos apresentaram tendência de aumento de densidade inversamente proporcional à densidade da pradaria de fanerógamas e proporcional aos teores de MO ao longo do ano. Plano Lamoso (PL) e Plano Vegetado (PV) apresentaram assembleias macrozoobentônicas distintas. A infauna foi dominante em todos os ambientes, mas beneficiada no PV onde apresentou os maiores valores de densidade, diversidade e equitatividade. A epifauna, a qual se esperava que fosse afetada positivamente pela presença das macrófitas aquáticas, apresentou baixa representatividade, além do aumento das densidades e diversidade no período de senescência do dossel no PL. A epifauna também se mostrou negativamente afetada pela passagem dos SF, já a infauna não apresentou padrões claros como resposta aos distúrbios. Desta forma, observa-se que a estratégia de vida oportunista, plasticidade alimentar, resiliência e rápida aclimação dos organismos são características preponderantes para a estruturação das assembleias estuarinas do ELP, o que gera dominância e baixa diversidade.

As respostas do bentos aos sistemas frontais (SF) não foram sistemáticas, uma vez que dependendo da intensidade do evento meteorológico, composição e estágio de vida da vegetação e da assembleia macrofaunal foram apresentados diferentes cenários. Durante o EV1 a estruturação vegetal mais complexa foi decisiva para a formação de um ambiente mais abrigado, que promoveu a estabilidade e a manutenção das assembleias pós-perturbação. No EV2 a passagem do SF ocasionou clara perturbação do substrato e a modificação da estrutura das pradarias, o que pode ter influenciado no aumento de matéria orgânica (MO) na Borda (B) e no PL. Este aumento de MO, bem como a perturbação física, tiveram influência positiva nas densidades das espécies infaunais, e reduções da diversidade e equitatividade da epifauna no PV. No EV3 o dossel chegou ao seu estágio de senescência e as maiores densidades do macrozoobentos foram registrados, logo as diferenças observadas após a passagem do SF mostraram que quanto mais complexa a estruturação das assembleias e menos complexo o habitat, maior será o estresse gerado pelas perturbações e refletirá nas densidades. O EV4 foi analisado durante um período influenciado por condições oligohalinas, com maior aporte fluvial, quando as densidades e diversidade da macrofauna foram baixas e o dossel apresentava pobre estruturação vegetal, logo as respostas da macrofauna foram pouco claras e não obedeceram aos critérios de habitat

(PV, PL e B), formas de ocupação do substrato (epifauna e infauna) ou descritores ecológicos (diversidade, riqueza e densidades).

Frente ao exposto, foi possível averiguar que os SF podem afetar positivamente ($>$ densidade, $>$ H, $>$ J, $>$ biomassa, $>$ cobertura, $>$ altura) ou negativamente ($<$ densidade, $<$ H, $<$ J, $<$ biomassa, $<$ cobertura, $<$ altura) as assembleias macrozoobentônicas e as pradarias de fanerógamas do ELP. A forma com que o ambiente será impactado dependerá, principalmente, da complexidade estrutural da pradaria e dos organismos que compõem as assembleias macrozoobentônicas. No entanto, é evidente o efeito amortecedor das pradarias às intempéries meteorológicas. Sugere-se, então, o monitoramento da variação interanual da macrofauna na pradaria submersa do Saco do Justino, visto que eventos extremos de curto-prazo tendem a ser mais frequentes devido às mudanças climáticas globais e ao aquecimento anômalo da superfície oceânica (Collins et al. 2019). As informações geradas neste estudo contribuem para a previsão das consequências de eventos meteorológicos sobre alguns dos componentes biológicos e níveis tróficos, essenciais à manutenção dos ecossistemas estuarinos, visando, portanto, possibilitar medidas de mitigação e evitar perdas de funções e serviços ecossistêmicos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu PC, Costa CSB, Bemvenuti C, Odebrecht C, Graneli W, Anesio AM (2006) Eutrophication processes and trophic interactions in a shallow estuary: Preliminary results based on stable isotope analysis ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$). *Estuaries and Coasts* 29:277–285.
- Albertoni EF, Palma-Silva C, Esteves FDA (2001) Macroinvertebrates associated with *Chara* in a tropical coastal lagoon (Imboassica lagoon, Rio de Janeiro, Brazil). *Hydrobiologia* 457:215–224.
- El Allaoui N, Serra T, Colomer J, Soler M, Casamitjana X, Oldham C (2016) Interactions between Fragmented Seagrass Canopies and the Local Hydrodynamics. *PLoS One* 11:e0156264.
- ANA (2019) Séries Históricas da Agência Nacional das Águas – ANA. <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas> (accessed 31 December 2019)
- Antiqueira JAF De, Calliari LJ (2005) Características Sedimentares da Desembocadura da Laguna dos Patos. *GRAVEL*:39–46.
- Anton A, Cebrian J, Duarte CM, Heck KL, Goff J (2009) Low impact of Hurricane Katrina on seagrass community structure and functioning in the northern Gulf of Mexico. *Bull Mar Sci* 85:45–59.
- Araújo MLV (2011) *Fanerógamas Submersas e o Ambiente Sedimentar no Estuário Da Lagoa Dos Patos (RS – Brasil)*. Fundação Universidade Federal de Rio Grande
- Arocena R (2007) Effects of submerged aquatic vegetation on macrozoobenthos in a coastal lagoon of the southwestern Atlantic. *Int Rev Hydrobiol* 92:33–47.
- Arocena R, Rodriguez L (2011) Small-scale structure of macrophytes and macrobenthos in coastal „Laguna de Rocha“. *Param J Aquat Sci* 6:148–160.
- Asanopoulos C, Waycott M (2020) The growth of aquatic macrophytes (*Ruppia tuberosa* spp . and *Althenia cylindrocarpa*) and the filamentous algal community in the southern Coorong, 13th ed. Goyder Institute for Water Research Technical Report Series, Adelaide.

- Ávila E, Yáñez B, Vazquez-Maldonado LE (2015) Influence of habitat structure and environmental regime on spatial distribution patterns of macroinvertebrate assemblages associated with seagrass beds in a southern Gulf of Mexico coastal lagoon. *Mar Biol Res* 11:755–764.
- Balthis WL, Hyland JL, Bearden DW (2006) Ecosystem Responses to Extreme Natural Events: Impacts of Three Sequential Hurricanes in Fall 1999 on Sediment Quality and Condition of Benthic Fauna in the Neuse River Estuary, North Carolina. *Environ Monit Assess* 119:367–389.
- Barnes RSK (1998) The Effects of Movement On Population Density Estimates of Mudflat Epifauna. *J Mar Biol Assoc United Kingdom* 78:377–385.
- Barnes RSK, Claassens L (2020) Do beds of subtidal estuarine seagrass constitute a refuge for macrobenthic biodiversity threatened intertidally? *Biodivers Conserv* 0123456789.
- Barnes RSK, Ellwood MDF (2012) Spatial variation in the macrobenthic assemblages of intertidal seagrass along the long axis of an estuary. *Estuar Coast Shelf Sci* 112:173–182.
- Baumgarten M da GZ, Niencheski LFH (2010) A coluna sedimentar como reservatório e fonte de nutrientes em enseadas estuarinas.
- Baumgarten M da GZ, Niencheski LFH, Martins BAD (2005) Saco do Justino (RS-Brasil): amônio e fosfato na coluna d'água e na água intersticial de uma enseada não contaminada.
- Beadle LC (1958) Classification of Brackish and Inland Saline Waters. *Nature* 182:27–28.
- Bell SS, Devlin D (1983) Short -term Macrofaunal Recolonization of Sediment and Epibenthic Habit in Tampa Bay, Florida. *Bul Mar Sci* 33:102–108.
- Bemvenuti CE (1997) Benthic invertebrates. In: *Subtropical convergence environments: the coast and sea in the southwestern Atlantic.*, 1st ed. Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP (eds) Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, p 43–46

- Bemvenuti CE, Colling LA (2010a) As Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos. In: *O Estuário da Lagoa dos Patos: Um século de Transformação*, 1st ed. Seeliger U, Odebrecht C (eds) FURG, Rio Grande, p 101–117
- Bemvenuti CE, Colling LA (2010b) Relações Tróficas Na Comunidade Bentônica Da Região Estuarina Da Lagoa Dos Patos, Rs, Brasil. *Cad Ecol Aquática* 5:1–8.
- Bernardino AF, Netto SA, Pagliosa PR, Barros F, Christofolletti RA, Rosa Filho JS, Colling A, Lana PC (2015) Predicting ecological changes on benthic estuarine assemblages through decadal climate trends along Brazilian Marine Ecoregions. *Estuar Coast Shelf Sci* 166:74–82.
- Bertness MD, Callaway R (1994) Positive interactions in communities. *Trends Ecol Evol* 9:191–193.
- Boesch DF, Diaz RJ, Virnstein RW (1976) Effects of Tropical Storm Agnes on soft-bottom macrobenthic communities of the James and York estuaries and the lower Chesapeake Bay. *Chesap Sci* 17:246–259.
- Bologna PA, Heck KL (2002) Impact of habitat edges on density and secondary production of seagrass-associated fauna. *Estuaries* 25:1033–1044.
- Bonifácio P, Grémare A, Gauthier O, Romero-Ramirez A, Bichon S, Amouroux JM, Labrune C (2018) Long-term (1998 vs. 2010) large-scale comparison of soft-bottom benthic macrofauna composition in the Gulf of Lions, NW Mediterranean Sea. *J Sea Res* 131:32–45.
- Bostrom C, Bonsdorff E (2000) Zoobenthic community establishment and habitat complexity - The importance of seagrass shoot-density, morphology and physical disturbance for faunal recruitment. *Mar Ecol Prog Ser* 205:123–138.
- Boström C, Bonsdorff E (1997) Community structure and spatial variation of benthic invertebrates associated with *Zostera marina* (L.) beds in the northern Baltic Sea. *J Sea Res* 37:153–166.
- Boström C, Jackson EL, Simenstad CA (2006) Seagrass landscapes and their effects on associated fauna: A review. *Estuar Coast Shelf Sci* 68:383–403.

- Boström C, Törnroos A, Bonsdorff E (2010) Invertebrate dispersal and habitat heterogeneity: Expression of biological traits in a seagrass landscape. *J Exp Mar Bio Ecol* 390:106–117.
- Bowden DA, Rowden AA, Attrill MJ (2001) Effect of patch size and in-patch location on the infaunal macroinvertebrate assemblages of *Zostera marina* seagrass beds. *J Exp Mar Bio Ecol* 259:133–154.
- Cafruni A, Krieger JA, Seeliger U (1978) Observações sobre *Ruppia maritima* L.(Potamogetonaceae) no estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil). *Atlântica* 3:85–90.
- Calliari L, Cunha RP da, Antiquiera JAF de (2010) Geomorfologia e Dinâmica Sedimentar. In: *O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*, 1st ed. Seeliger U, Odebrecht C (eds) FURG, Rio Grande, p 31–43
- Canepuccia AD, Escapa M, Daleo P, Alberti J, Botto F, Iribarne OO (2007) Positive interactions of the smooth cordgrass *Spartina alterniflora* on the mud snail *Heleobia australis*, in South Western Atlantic salt marshes. *J Exp Mar Bio Ecol* 353:180–190.
- Carlson PR, Yarbrow LA, Kaufman KA, Mattson RA (2010) Vulnerability and resilience of seagrasses to hurricane and runoff impacts along Florida's west coast. *Hydrobiologia* 649:39–53.
- Carlson TN (1991) Mid-latitude weather systems.
- Cazzoli y Goya S, Tessler MG (2000) Variações morfológicas espaço-temporais entre as praias de Cibratel e Itanhaém-Suarão, Estado de São Paulo. *Rev Bras Oceanogr* 48:151–166.
- Cheng S, Tan SY, Li Z, Cheng S (2017) Ecological Interaction between Submerged Macrophytes and Zoobenthos. *SDRP J Earth Sci Environ Stud* 2:1–10.
- Clarke K, Warwick R (2001) A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Mar Ecol Prog Ser* 216:265–278.
- Colares IG, Seeliger U (2006) Influência da luz sobre o crescimento e a produção de

biomassa de *Ruppia maritima* L . em cultivo experimental. *Acta Bot Brasilica* 20:31–36.

Colling L a., Bemvenuti CE, Gandra MS (2007) Seasonal variability on the structure of sublittoral macrozoobenthic association in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. *Iheringia Série Zool* 97:257–262.

Colling LA (2007) Influencia dos fatores abioticos na variabilidade espaco-temporal dos macroinvertebrados bentonicos em uma enseada rasa estuarina da Lagoa dos Patos, RS - Brasil. 100.

Colling LA (2011) Variabilidade De Curto , Médio E Longo Prazo Das Associações De Uma Enseada Estuarina Da Lagoa Dos Patos , RS – Brasil. Universidade Federal de Rio Grande

Colling LA, Bemvenuti CE, Pinotti RM (2010) Temporal variability of the bivalve *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 during and after the El Niño phenomenon (2002/2003) in a subtropical lagoon, southern Brazil. *Acta Limnol Bras* 22:410–423.

Collins M, Sutherland M, Bouwer L, Cheong S-M, Frölicher TL, Jacot Des Combes H, Roxy MK, Losada I, McInnes K, Ratter B, Rivera-Arriaga E, Susanto RD, Swingedouw D, Tibig L, Bakker P, Eakin CM, Emanuel K, Grose M, Hemer M, Jackson L, K b A, Kajtar JB, Knutson T, Laufk tt er C, Noy I, Payne M, Ranasinghe R, Sgubin G, Timmermans M-L (2019) Extremes, Abrupt Changes and Managing Risks. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Pörtner H-O, Roberts DC, Masson-Delmotte V, Zhai P, Tignor M, Poloczanska E, Mintenbeck K, Alegria A, Nicolai M, Okem A, Petzold J, Rama B, Weyer NM (eds) in press, p 589–655

Conover WJ, Iman RL (1979) On multiple-comparisons procedures. Los Alamos Sci Lab Tech Rep LA-7677-MS:1–14.

Copertino M da S, Creed JC, Magalhães KM, Barros KV de S, Lanari M de O, Arévalo PR, Horta PA (2015) Monitoramento dos fundos vegetados submersos (Pradarias submersas). In: *Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros – Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros – ReBentos*. Turra A,

- Denadai MR (eds) Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, p 17–47
- Copertino M, Seeliger U (2010) Hábitats de *Ruppia maritima* e de macroalgas. In: *O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*, 1st ed. Seeliger U, Odebrecht C (eds) FURG, Rio Grande, p 91–101
- Copertino MS, Creed JC, Lanari MO, Barros K, Lana PC, Sordo L, Horta PA (2016) Seagrass and Submerged Aquatic Vegetation (VAS) Habitats off the Coast of Brazil: state of knowledge, conservation and main threats. *Brazilian J Oceanogr* 64:53–80.
- CPTEC/INPE (2019a) Boletins Técnicos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE. <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt> (accessed 31 December 2019)
- CPTEC/INPE (2019b) Series de Dados Estação Automática Rio Grande-A802
- Cullen-Unsworth L, Unsworth R (2013) Seagrass Meadows, Ecosystem Services, and Sustainability. *Environ Sci Policy Sustain Dev* 55:14–28.
- Dauer DM (1984) High resilience to disturbance of an estuarine polychaete community. *Bull Mar Sci* 34:170–174.
- Dauer DM, Maybury CA, Ewing RM (1981) Feeding behavior and general ecology of several spionid polychaetes from the Chesapeake Bay. *J Exp Mar Bio Ecol* 54:21–38.
- Davies BE (1974) Loss-on-Ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. *Soil Sci Soc Am J* 38:150–151.
- Davis SE, Cable JE, Childers DL, Coronado-Molina C, Day JW, Hittle CD, Madden CJ, Reyes E, Rudnick D, Sklar F (2004) Importance of Storm Events in Controlling Ecosystem Structure and Function in a Florida Gulf Coast Estuary. *J Coast Res* 204:1198–1208.
- Deserti MI, Escalante AH, Acuña FH (2015) New record for the distribution of the colonial hydroid *Argentina*. *Check List* 11:1515.

- Desrosiers C, Leflaive J, Eulin A, Ten-Hage L (2013) Bioindicators in marine waters: Benthic diatoms as a tool to assess water quality from eutrophic to oligotrophic coastal ecosystems. *Ecol Indic* 32:25–34.
- Dobbs F, Vozarik J (1983) Immediate effects of a storm on coastal infauna. *Mar Ecol Prog Ser* 11:273–279.
- Donatelli C, Ganju NK, Kalra TS, Fagherazzi S, Leonardi N (2019) Changes in hydrodynamics and wave energy as a result of seagrass decline along the shoreline of a microtidal back-barrier estuary. *Adv Water Resour* 128:183–192.
- Duarte CM, Borum J, Short FT, Walker DI (2008) Seagrass ecosystems: Their global status and prospects. *Aquat Ecosyst Trends Glob Prospect*:281–294.
- Dunton KH (1990) Production ecology of *Ruppia maritima* L. s.l. and *Halodule wrightii* Aschers, in two subtropical estuaries. *J Exp Mar Bio Ecol* 143:147–164.
- Dyer KR (1979) Estuarine hydrography and sedimentation: a handbook, 83rd ed. CUP Archive.
- Ebrahim A, Olds A, Maxwell P, Pitt K, Burfeind D, Connolly R (2014) Herbivory in a subtropical seagrass ecosystem: separating the functional role of different grazers. *Mar Ecol Prog Ser* 511:83–91.
- Eckman JE (1983) Hydrodynamic processes affecting benthic recruitment. *Limnol Oceanogr* 28:241–257.
- Edgar GJ, Barrett NS (2002) Benthic macrofauna in Tasmanian estuaries: scales of distribution and relationships with environmental variables. *J Exp Mar Bio Ecol* 270:1–24.
- Engle VD, Environmental JKSUS, Agency P, Health N (1999) Latitudinal gradients in benthic community composition in Western Atlantic estuaries. *Environ Monit Assess*:1007–1023.
- Engle VD, Hyland JL, Cooksey C (2009) Effects of Hurricane Katrina on benthic macroinvertebrate communities along the northern Gulf of Mexico coast. *Environ Monit Assess* 150:193–209.

- Evans AS, Webb KL, Penhale PA (1986) Photosynthetic temperature acclimation in two coexisting seagrasses, *Zostera marina* L. and *Ruppia maritima* L. *Aquat Bot* 24:185–197.
- Fallis A. (2010) O Estuário da Lagoa dos Patoss: um século de transformações.
- FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (1995) Norma Técnica N° 003/95 (Fepam). Porto Alegre.
- Fernandes EHL, Dyer KR, Moller OO (2005) Spatial gradients in the flow of Southern Patos Lagoon. *J Coast Res* 21:759–769.
- Folk RL, Ward WC (1957) Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *J Sediment Res* 27:3–26.
- Fredriksen S, de Backer A, Boström C, Christie H (2010) Infauna from *Zostera marina* L. meadows in Norway. Differences in vegetated and unvegetated areas. *Mar Biol Res* 6:189–200.
- French E, Moore K (2018) Canopy Functions of *R. maritima* and *Z. marina* in the Chesapeake Bay. *Front Mar Sci* 5:1–5.
- Fulweiler RW, Nixon SW (2009) Responses of benthic-pelagic coupling to climate change in a temperate estuary. In: *Eutrophication in Coastal Ecosystems*, 207th ed. Andersen JH., Conley DJ (eds) Springer Netherlands, Dordrecht, p 147–156
- Gallucci F, Netto SA (2004) Effects of the passage of cold fronts over a coastal site: An ecosystem approach. *Mar Ecol Prog Ser* 281:79–92.
- Ganthy F, Soissons L, Sauriau P-G, Verney R, Sottolichio A (2015) Effects of short flexible seagrass *Zostera noltei* on flow, erosion and deposition processes determined using flume experiments. *Sedimentology* 62:997–1023.
- Garcia AM, Vieira JP (1997) Abundance and diversity of fish assemblages inside and outside a bed of *Ruppia maritima* L. in the Patos Lagoon estuary (RS, Brazil). *Atlantica*:161–181.
- Geyer WR (1997) Influence of Wind on Dynamics and Flushing of Shallow Estuaries.

- Estuar Coast Shelf Sci 44:713–722.
- Grall J, Glémarec M (1997) Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuar Coast Shelf Sci* 44:43–53.
- Green MO (2011) Very small waves and associated sediment resuspension on an estuarine intertidal flat. *Estuar Coast Shelf Sci* 93:449–459.
- Gutierrez SMM (2012) PH tolerance of the biofouling invasive hydrozoan *Cordylophora caspia*. *Hydrobiologia* 679:91–95.
- Heck KL, Able KW, Roman CT, Fahay MP (1995) Composition, Abundance, Biomass, and Production of Macrofauna in a New England Estuary: Comparisons among Eelgrass Meadows and Other Nursery Habitats. *Estuaries* 18:379.
- Heide van der T, Eklöf JS, van Nes EH, van der Zee EM, Donadi S, Weerman EJ, Olff H, Eriksson BK (2012) Ecosystem Engineering by Seagrasses Interacts with Grazing to Shape an Intertidal Landscape. *PLoS One* 7:e42060.
- Hemminga MA, Duarte CM (2000) *Seagrass ecology*. Cambridge University Press.
- Herkül K, Kotta J (2009) Effects of eelgrass (*Zostera marina*) canopy removal and sediment addition on sediment characteristics and benthic communities in the Northern Baltic Sea. *Mar Ecol* 30:74–82.
- Houser C, Greenwood B (2007) Onshore Migration of a Swash Bar During a Storm. *J Coast Res* 231:1–14.
- Jonge de VN, van Beusekom JEE (1995) Wind- and tide-induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary. *Limnol Oceanogr* 40:776–778.
- Jordão Priscila Bueno (2008) *Modelagem Hidrodinâmica Do Saco Do Arraial, Estuário Da Lagoa*.
- Kantin R, Baumgarten MGZ (1982) Observações hidrográficas no estuário da Lagoa dos Patos: distribuição e flutuações dos sais nutrientes. *Atlântica* 5:76–92.
- Kenworthy WJ, Zieman JC, Thayer GW (1982) Evidence for the influence of seagrasses

on the benthic nitrogen cycle in a coastal plain estuary near Beaufort, North Carolina (USA). *Oecologia* 54:152–158.

Kjerfve B (1986) *Comparative oceanography of coastal lagoons*. Elsevier.

Koepfler ET, Benner R, Montagna PA (1993) Variability of dissolved organic carbon in sediments of a seagrass bed and an unvegetated area within an estuary in Southern Texas. *Estuaries* 16:391–404.

Köppen W (1923) *Die Klimate der Erde*. De Gruyter, Berlin, Boston.

Krumbein WC (1934) Size Frequency Distributions of Sediments. *SEPM J Sediment Res Vol. 4*.

Kuinchtner A, Buriol GA (2001) Clima do Estado do Rio Grande do Sul Segundo a Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite. *Discip Sci Série Ciências Exatas* 2:171–182.

Lana PC (1986) Macrofauna benthica de fundos sublitorais não consolidados da Baía de Paranaguá. *Nerítica* 1:79–89.

Lanari M, S. Copertino M, Colling LA, C. Bom F (2018) The impact of short-term depositions of macroalgal blooms on widgeon-grass meadows in a river-dominated estuary. *Harmful Algae* 78:36–46.

Lawson SE, Wiberg PL, McGlathery KJ, Fugate DC (2007) Wind-driven sediment suspension controls light availability in a shallow coastal lagoon. *Estuaries and Coasts* 30:102–112.

Little C, Little ECS (2000) *The biology of soft shores and estuaries*. Oxford University Press.

Lobry J, David V, Pasquaud S, Lepage M, Sautour B, Rochard E (2008) Diversity and stability of an estuarine trophic network. *Mar Ecol Prog Ser* 358:13–25.

Lundquist C, Thrush S, Hewitt J, Halliday J, MacDonald I, Cummings V (2006) Spatial variability in recolonisation potential: influence of organism behaviour and hydrodynamics on the distribution of macrofaunal colonists. *Mar Ecol Prog Ser*

324:67–81.

- Lundquist CJ, Jones TC, Parkes SM, Bulmer RH (2018) Changes in benthic community structure and sediment characteristics after natural recolonisation of the seagrass *Zostera muelleri*. *Sci Rep* 8:13250.
- McKenzie L, Nordlund LM, Jones BL, Cullen-Unsworth LC, Roelfsema CM, Unsworth R (2020) The global distribution of seagrass meadows. *Environ Res Lett*.
- Mendoza-Carranza M, Vieira J (2008) Whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) feeding strategies across four southern Brazilian estuaries. *Aquat Ecol* 42:83–93.
- Meysick L, Ysebaert T, Jansson A, Montserrat F, Valanko S, Villnäs A, Boström C, Norkko J, Norkko A (2019) Context-dependent community facilitation in seagrass meadows along a hydrodynamic stress gradient. *J Sea Res* 150–151:8–23.
- Migotto AE, Marques AC, Morandini AC, Silveira FL da (2002) Checklist of the Cnidaria Medusozoa of Brazil. *Biota Neotrop* 2:1–31.
- Miller DC, Sternberg RW (1988) Field measurements of the fluid and sediment-dynamic environment of a benthic deposit feeder. *J Mar Res* 46:771–796.
- Miranda LB de, Castro Filho BM de, Kjerfve B (2002) Princípios de oceanografia física de estuários.
- Moller Jr OO, Stech J, Mata MM (1996) The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. *Cont Shelf Res* 16:335–351.
- Moller OO, Castaing P, Salomon J-C, Lazure P (2001) The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon. *Estuaries* 24:297.
- Montfrans van J, Wetzel RL, Orth RJ (1984) Epiphyte-Grazer Relationships in Seagrass Meadows: Consequences for Seagrass Growth and Production. *Estuaries* 7:289.
- Murphy LR, Kinsey ST, Durako MJ (2003) Physiological effects of short-term salinity changes on *Ruppia maritima*. *Aquat Bot* 75:293–309.

- Murray BC, Pendleton L, Jenkins WA, Sifleet S (2011) Green payments for blue carbon: economic incentives for protecting threatened coastal habitats. Green payments blue carbon Econ Incent Prot Threat Coast habitats.
- Negrello-Filho O, Lana P (2013) Short-term stability of estuarine benthic assemblages: are storms pattern-defining events? *Zool* 30:266–272.
- Negrello Filho OA, Underwood AJ, Chapman MG (2006) Recolonization of infauna on a tidal flat: An experimental analysis of modes of dispersal. *J Exp Mar Bio Ecol* 328:240–250.
- Netto SA, Lana PC (1997) Intertidal zonation of benthic macrofauna in a subtropical salt marsh and nearby unvegetated flat (SE, Brazil). *Hydrobiologia* 353:171–180.
- Neves RAF, Echeverría CA, Pessoa LA (2011) Resposta da espécie *Heleobia australis* (Gastropoda: Hydrobiidae) a variações de salinidade e exposição a hidrocarbonetos fecal contamination of urban beaches of Rio de Janeiro View project Effects of toxic epibenthic dinoflagellates on marine organisms Vie. *Bol do Laboratório Hidrobiol* 1:19–25.
- Nixon SW, Oviatt CA, Frithsen J, Sullivan B (1986) Nutrients and the productivity of estuarine and coastal marine ecosystems. *J Limnol Soc South Africa* 12:43–71.
- Oliveira A (2015) Caracterização sedimentar e aplicação do diagrama de pejrup para interpretação da dinâmica em uma enseada estuarina na Lagoa dos Patos/Brasil . *Geogr - Rev eletrônica do Programa Pós-Graduação em Geogr da Univ Fed Pelotas* 1:363–383.
- Orth RJ (1992) A perspective on plant animal interactions in seagrasses: physical and biological determinants influencing plant and animal abundance. *Plant Anim Interact Mar benthos*.
- Orth RJ, Heck KL, van Montfrans J (1984) Faunal Communities in Seagrass Beds: A Review of the Influence of Plant Structure and Prey Characteristics on Predator: Prey Relationships. *Estuaries* 7:339.
- Pereira Britto F, Barletta R, Mendonça M (2008) Variabilidade espacial e temporal da

- precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño oscilação sul. *Rev Bras Climatol* 3:111–123.
- Pereira RS, Niencheski LFH (2004) Simulação do Tempo de Residência da Lagoa dos Patos. In: *XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica*. São Pedro - SP, p 1–6
- Petkovic I (1964) Beaufort wind scale and calculated numerical values of wind speed and wind pressure curves above sea level. *Int Shipbuild Prog* 11:193–202.
- Peyre MK La, Rowe S (2003) Effects of salinity changes on growth of *Ruppia maritima* L. *Aquat Bot* 77:235–241.
- Posey M, Lindberg W, Alphin T, Vose F (1996) Influence of Storm Disturbance on an Offshore Benthic Community. *Bul Mar Sci* 59:523–529.
- Pranovi F, Curiel D, Rismondo A, Marzocchi M, Scattolin M (2000) Variations of the macrobenthic community in a seagrass transplanted area of the Lagoon of Venice. *Sci Mar* 64:303–310.
- Preen AR, Lee Long WJ, Coles RG (1995) Flood and cyclone related loss, and partial recovery, of more than 1000 km² of seagrass in Hervey Bay, Queensland, Australia. *Aquat Bot* 52:3–17.
- Pruitt JN, Little AG, Majumdar SJ, Schoener TW, Fisher DN (2019) Call-to-Action: A Global Consortium for Tropical Cyclone Ecology. *Trends Ecol Evol* 34:588–590.
- Rakocinski CF, LeCroy SE, McLelland JA, Heard RW (2000) Possible Sustained Effects of Hurricanes Opal and Erin on the Macrobenthos of Nearshore Habitats Within the Gulf Islands National Seashore. *Gulf Caribb Res* 12:19–30.
- Reboita MS, Krusche N (2018) Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2010 para Rio Grande, RS. *Rev Bras Meteorol* 33:165–179.
- Reboita M S, Krusche N, Piccoli H C (2006) Climate Variability in Rio Grande, RS, Brazil: A Quantitative Analysis of Contributions due to Atmospheric Systems. *Rev Bras Meteorol* 21:256–270.
- Reidenbach MA, Thomas EL (2018) Influence of the Seagrass, *Zostera marina*, on

- Wave Attenuation and Bed Shear Stress Within a Shallow Coastal Bay. *Front Mar Sci* 5:1–16.
- Richardson FD (1980) Ecology of *Ruppia maritima* L. In New Hampshire (U.S.A) Tidal Marshes. *Rhodora* 82:403–439.
- Rosa LC, Bemvenuti CE (2007) Seria a macrofauna bentonica de fundos nao consolidados influenciada pelo aumento na complexidade estrutural do habitat? O caso do Estuario da Lagoa dos Patos. *Brazilian J Aquat Sci Technol* 11:51–56.
- Rosa LC, Bemvenuti CE (2006) Temporal variability of the estuarine macrofauna of the Patos Lagoon, Brazil. *Rev Biol Mar Oceanogr* 41:1–9.
- Sampere TP, Bianchi TS, Wakeham SG, Allison MA (2008) Sources of organic matter in surface sediments of the Louisiana Continental margin: Effects of major depositional/transport pathways and Hurricane Ivan. *Cont Shelf Res* 28:2472–2487.
- Schanz A, Polte P, Asmus H (2002) Cascading effects of hydrodynamics on an epiphyte-grazer system in intertidal seagrass beds of the Wadden Sea. *Mar Biol* 141:287–297.
- Schultz DM, Keyser D, Bosart LF (1998) The effect of large-scale flow on low-level frontal structure and evolution in midlatitude cyclones. *Mon Weather Rev* 126:1767–1791.
- Schultz R, Dibble E (2012) Effects of invasive macrophytes on freshwater fish and macroinvertebrate communities: The role of invasive plant traits. *Hydrobiologia* 684:1–14.
- Sconfiatti R, Marchini A, Occhipinti Ambrogi A, Sacchi CF (2003) The sessile benthic community patterns on hard bottoms in response to continental vs. marine influence in northern Adriatic lagoons. *Oceanol Acta* 26:47–56.
- Seeliger U (1989) Vertical distribution and resource allocation of *Ruppia maritima* L. in a southern Brazilian estuary. 33:123–129.
- Seliger U (1998) O ambiente e a Biota do Estuário da Lagoa dos Patos: Fanerógamas

- Marinhas Submersas. In: *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil*, 1st ed. Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP (eds) Ecoscientia, Rio Grande, p 29–32
- Sheridan PF, Livingston RJ (1983) Abundance and Seasonality of Infauna and Epifauna Inhabiting a *Halodule wrightii* Meadow in Apalachicola Bay, Florida. *Estuaries* 6:407.
- Shi B, Cooper JR, Pratolongo PD, Gao S, Bouma TJ, Li G, Li C, Yang SL, Wang YP (2017) Erosion and accretion on a mudflat: the importance of very shallow-water effects. *J Geophys Res Ocean* 122:9476–9499.
- Silva ET, Asmus ML (2001) A dynamic simulation model of the widgeon grass *Ruppia maritima* and its epiphytes in the estuary of the Patos Lagoon, RS, Brazil. *Ecol Modell* 137:161–179.
- Silveira S, Ortega I, Dumont LFC (2020) Artisanal trawling impact over prey availability and diet of estuarine megabenthic organisms in southern Brazil. *Estuar Coast Shelf Sci* 237:106682.
- Soares R, Peixoto S, Bemvenuti C, Wasielesky W, D’Incao F, Murcia N, Suita S (2004) Composition and abundance of invertebrate benthic fauna in *Farfantepenaeus paulensis* culture pens (Patos Lagoon estuary, Southern Brazil). *Aquaculture* 239:199–215.
- Stech JL, Lorenzetti JA (1992) The Response of the South of Wintertime Brazil Bight to the Passage Cold Fronts. *J Geophys Res* VOL 97:9507–9520.
- Stoner A (1980) The Role of Seagrass Biomass in the Organization of Benthic Macrofaunal Assemblages. *Bull Mar Sci* 30:537–551.
- Suchanek TH, Williams SL, Ogden JC, Hubbard DK, Gill IP (1985) Utilization of shallow-water seagrass detritus by Caribbean deep-sea macrofauna: $\delta^{13}C$ evidence. *Deep Sea Res Part A Oceanogr Res Pap* 32:201–214.
- Sugio K (1973) *Introdução sedimentologia*. E. Bl che r, São Paulo.
- Tanner JE (2005) Edge effects on fauna in fragmented seagrass meadows. *Austral Ecol*

30:210–218.

- Tavares C (2016) Influência de Eventos El Niño nos Recrutamentos do Bivalve *Erodona mactroides* Bosc 1801 nas Enseadas Rasas da Região Estuarina da Lagoa dos Patos, RS - Brasil. Universidade Federal do Rio Grande
- Teixeira-Amaral P, Rodrigues de Lemos V, Muxagata E, Nagata RM (2020) Temporal dynamics of mesoplanktonic cnidarians in a subtropical estuary: Environmental drivers and possible trophic effects. *Estuar Coast Shelf Sci*:107076.
- Teixeira L, Creed J (2020) A decade on: an updated assessment of the status of marine non-indigenous species in Brazil. *Aquat Invasions* 15:30–43.
- Toldo EE, Almeida LESB de, Corrêa ICS, Ferreira ER, Gruber NIS (2006) Wave prediction along lagoa do patos coastline, southern brazil. *Atlantica* 28:87–95.
- Tukey JW (1953) The problem of multiple comparisons. *Mult Comp*.
- Turner S., Grant J, Pridmore R., Hewitt J., Wilkinson M., Hume T., Morrisey D. (1997) Bedload and water-column transport and colonization processes by post-settlement benthic macrofauna: Does infaunal density matter? *J Exp Mar Bio Ecol* 216:51–75.
- Turner SJ, Hewitt JE, Wilkinson MR, Morrisey DJ, Thrush SF, Cummings VJ, Funnell G (1999) Seagrass patches and landscapes: The influence of wind-wave dynamics and hierarchical arrangements of spatial structure on macrofaunal seagrass communities. *Estuaries* 22:1016–1032.
- Tussenbroek B van, Monroy-Velazquez L, Solis-Weiss V (2012) Meso-fauna foraging on seagrass pollen may serve in marine zoophilous pollination. *Mar Ecol Prog Ser* 469:1–6.
- Tussenbroek BI van, Villamil N, Márquez-Guzmán J, Wong R, Monroy-Velázquez LV, Solis-Weiss V (2016) Experimental evidence of pollination in marine flowers by invertebrate fauna. *Nat Commun* 7:12980.
- Underwood AJ (1994) On Beyond BACI: Sampling Designs that Might Reliably Detect Environmental Disturbances. *Ecol Appl* 4:3–15.

- Underwood AJ (1996) On Beyond Baci. In: *Detecting Ecological Impacts*. Schmitt RJ, Osenberg CWBT-DEI (eds) Elsevier, San Diego, p 151–175
- Underwood AJ, Chapman MG (1996) Scales of spatial patterns of distribution of intertidal invertebrates. *Oecologia* 107:212–224.
- Underwood AJ, Underwood AL, Underwood AJ, Underwood AJ (1997) *Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press.
- Vaz AC, Möller OC, Almeida TL de (2006) Análise Quantitativa da Descarga dos Rios Afluentes da Lagoa dos Patos. *Atlântica* 28:13–23.
- Velasco I, Fritsch JM (1987) Mesoscale convective complexes in the Americas. *J Geophys Res* 92:9591–9613.
- Velimirov B (1987) Organic Matter Derived from a Seagrass Meadow: Origin, Properties, and Quality of Particles. *Mar Ecol* 8:143–173.
- Verhoeven JTA (1980) The ecology of *Ruppia*-dominated communities in Western Europe. II. Synecological classification. Structure and dynamics of the macroflora and macrofauna communities. *Aquat Bot* 8:1–85.
- Villwock JA (1984) Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. *Pesqui em Geociências*:5–49.
- Vonk JA, Christianen MJA, Stapel J (2010) Abundance, edge effect, and seasonality of fauna in mixed-species seagrass meadows in southwest Sulawesi, Indonesia. *Mar Biol Res* 6:282–291.
- Ward LG, Kemp WM, Boynton WR (1984) The influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment. *Mar Geol* 59:85–103.
- Waycott M, Duarte CM, Carruthers TJB, Orth RJ, Dennison WC, Olyarnik S, Calladine A, Fourqurean JW, Heck KL, Hughes AR, Kendrick GA, Kenworthy WJ, Short FT, Williams SL (2009) Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proc Natl Acad Sci* 106:12377–12381.

- Webster PJ, Rowden AA, Attrill MJ (1998) Effect of Shoot Density on the Infaunal Macro-invertebrate Community within a. *Conserv Biol*:351–357.
- Wentworth CK (1922) A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J Geol* 30:377–392.
- Whitfield A, Elliott M (2011) Ecosystem and Biotic Classifications of Estuaries and Coasts. In: *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. Elsevier, p 99–124
- Wilson JG (2009) Adaptations to life in estuaries. *Fish Aquac* V:166.
- Wilson JG, Fleeger JW (2012) Estuarine Benthos. In: *Estuarine Ecology*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, p 303–325
- Włodarska-Kowalczyk M, Jankowska E, Kotwicki L, Balazy P (2014) Evidence of season-dependency in vegetation effects on macrofauna in temperate seagrass meadows (Baltic Sea). *PLoS One* 9.
- Wolff WJ, Sandee AJJ, de Wolf L (1977) The development of a benthic ecosystem. *Hydrobiologia* 52:107–115.
- Würdig NL, Silva CMD (1990) Distribuição e abundância da comunidade de Isopoda na Lagoa do Gentil, sistema lagunar de Tramandaí, RS. *Acta Limnologica* 3:785–806.
- Zaleha K., Farah Diyana MF., Amira Suhaili R, Amirudin A (2009) Benthic Community of the Sungai Pulai Seagrass Bed, Malaysia. *Malaysian J Sci* 28:143–159.
- Zanotta DC, Ducati JR, Gonçalves GA (2010) Surface temperature patterns of Lagoa dos Patos, Brazil, using NOAA-AVHRR data: an annual cycle analysis. *Pesqui em Geociências* 37:219.
- Zar JH (1984) *Biostatistical analysis*, 2nd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

APÊNDICE A – TABELAS DE SIGNIFICÂNCIA

Tabela 3. Teste T de Student para comparação das diferenças ocorridas entre os períodos (A, D) dos quatro Eventos estudados, nos ambientes, para os descritores da assembleia macrozoobentônica, da vegetação e da constituição sedimentar. Destaque para o teste não paramétrico de Mann-Whitney (*).

Evento	Ambiente	Densidade		Diversidade		Equitatividade		Matéria Orgânica	Seleção	Biomassa aérea		Biomassa subterrânea		Cobertura Vegetal	Altura do dossel
		Infauna	Epifauna	Infauna	Epifauna	Infauna	Epifauna			<i>P. striaus</i>	<i>R. marítima</i> <i>Z. palustris</i>	<i>P. striaus</i>	<i>R. marítima</i> <i>Z. palustris</i>		
1	PL	0.6*	0.7	0.4*	NAN	0.4*	NAN	0.4	0.2	NAN	0.04*	NAN	0.06*	0.8*	0.02*
	B	0.6*	0.1*	0.5*	0.3*	0.2*	0.4*	0.5	0.5*	NAN	0.5	NAN	0.2*	0.03*	0.5*
	PV	0.8*	0.2*	0.8	0.5*	0.4	0.4*	0.7	0.5*	0.2*	0.1	0.02*	0.0001*	0.003*	0.01
2	PL	0.005*	0.06*	0.3*	0.1*	0.4*	0.2*	0.02*	0.02	NAN	0.004*	NAN	0.01*	NAN	NAN
	B	0.1*	0.5*	0.1	0.8*	0.1	0.4*	0.003*	0.7	NAN	0.6*	NAN	0.4*	0.2	0.8
	PV	0.1	0.6*	0.04	0.02*	0.3	0.01*	0.6	0.8*	0.3*	0.4*	0.3*	0.2*	0.004	0.1
3	PL	0.03*	0.06*	0.3	0.08	0.9	0.4*	0.6*	1.*	NAN	NAN	NAN	NAN	NAN	N
	B	0.009*	0.1	0.7	0.08*	0.8	0.06*	0.3	0.2*	NAN	0.1*	NAN	0.3*	0.3*	0.1
	PV	0.04*	0.05	0.006	0.07*	0.003	0.08	0.2	0.2	NAN	0.2*	NAN	0.3*	0.004*	0.1*
4	PL	0.5	0.6*	0.06	0.14*	0.1	0.1*	0.2*	0.3*	0.3*	0.5*	0.3*	0.4*	NAN	NAN
	B	0.02*	0.7*	0.4	0.4*	0.1	0.4*	0.4	0.7*	0.9*	0.08	0.9*	0.1*	0.008	NAN
	PV	0.2	0.4*	0.03	1*	0.2	1*	0.07*	1*	0.1*	0.8*	0.1*	0.1*	0.6*	0.09

Tabela 4. Teste de Transformação de Postos (Conover & Iman 1979) para análise da variância entre ambientes, eventos e períodos para os descritores da assembleia macrozoobentônica, da vegetação e da constituição sedimentar.

Variável	Densidade		Diversidade		Equitatividade		Matéria Orgânica	Seleção	Biomassa aérea		Biomassa subterrânea		Cobertura Vegetal	Altura do dossel
	Infauna	Epifauna	Infauna	Epifauna	Infauna	Epifauna			<i>P. striaus</i>	<i>R. marítima</i> <i>Z. palustris</i>	<i>P. striaus</i>	<i>R. marítima</i> <i>Z. palustris</i>		
Ambiente	4.54E-09	0.7649	0.01598	0.62134	0.00116	0.68232	0.397829	0.06875	3.87E-06	2.00E-13	6.74E-06	1.59E-09	< 2.2e-16	< 2.2e-16
Evento	0.001434	4.11E-09	0.00023	9.62E-07	0.43023	1.02E-05	0.008091	0.04906	4.16E-05	6.89E-09	3.41E-05	1.02E-06	< 2.2e-16	< 2.2e-16
Ambiente:Evento	0.526654	0.7813	0.86376	0.02276 *	0.1256	0.03406	0.96832	0.81131	1.04E-09	1.56E-06	4.22E-09	3.51E-07	4.68E-12	3.92E-12

Tabela 5. Análise de Similaridade Multivariada (ANOSIM) da assembleia macrozoobentônica, em cada evento, apresentadas na Fig. 18, que abrangem a diferença entre ambientes (PV e PL), e entre períodos para cada ambiente (APL x DPL; APV x DPV).

Evento	PL : PV		APL : DPL		APV : DPV	
	p	R	p	R	p	R
1	0,001	0,32	0,2	0,055	0,05	-0,016
2	0,001	0,4	0,005	0,32	0,05	-0,12
3	0,001	0,5	0,6	0,12	0,02	-0,2
4	0,001	0,2	0,1	0,08	0,08	0,11

APÊNDICE B – RESUMOS GRÁFICOS

APÊNDICE 2

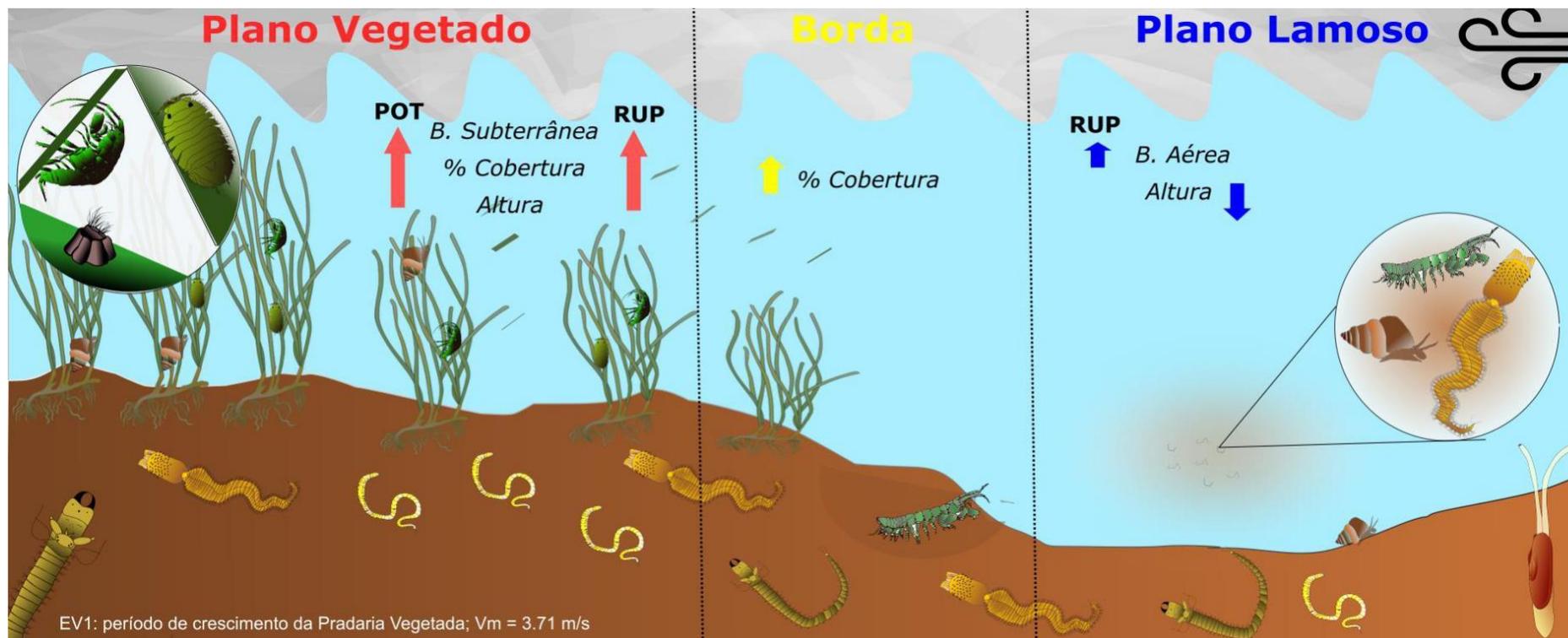


Figura 22. Resumo gráfico do evento um. Aumento (seta para cima), redução (seta para baixo) e ausência (igual) de variações dos descritores sedimentológicos, de vegetação e macrofauna em Plano Vegetado (vermelho), Borda (amarelo) e Plano Lamoso (azul). Destaque para a representação da densidade da pradaria e diversidade do macrobentos.

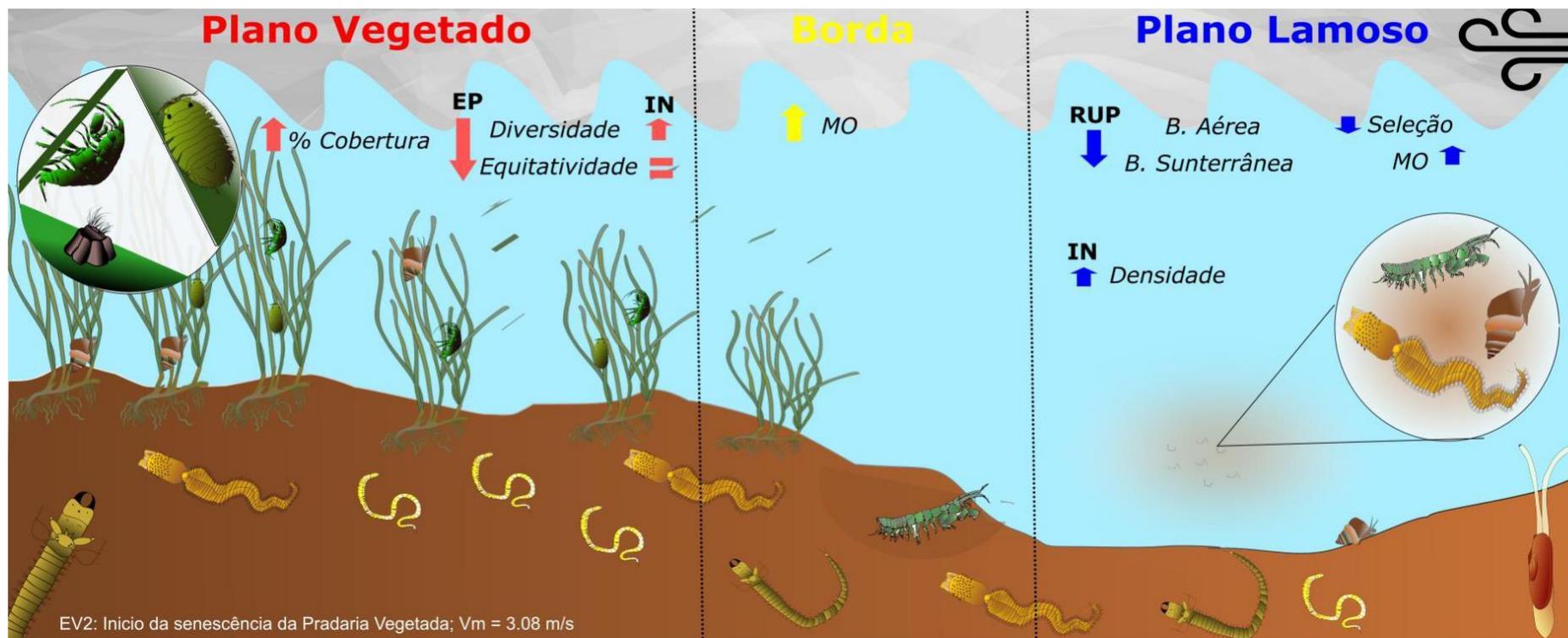


Figura 23. Resumo gráfico do evento dois. Aumento (seta para cima), redução (seta para baixo) e ausência (igual) de variações dos descritores sedimentológicos, de vegetação e macrofauna em Plano Vegetado (vermelho), Borda (amarelo) e Plano Lamoso (azul). Destaque para a representação da densidade da pradaria e diversidade do macrobentos.

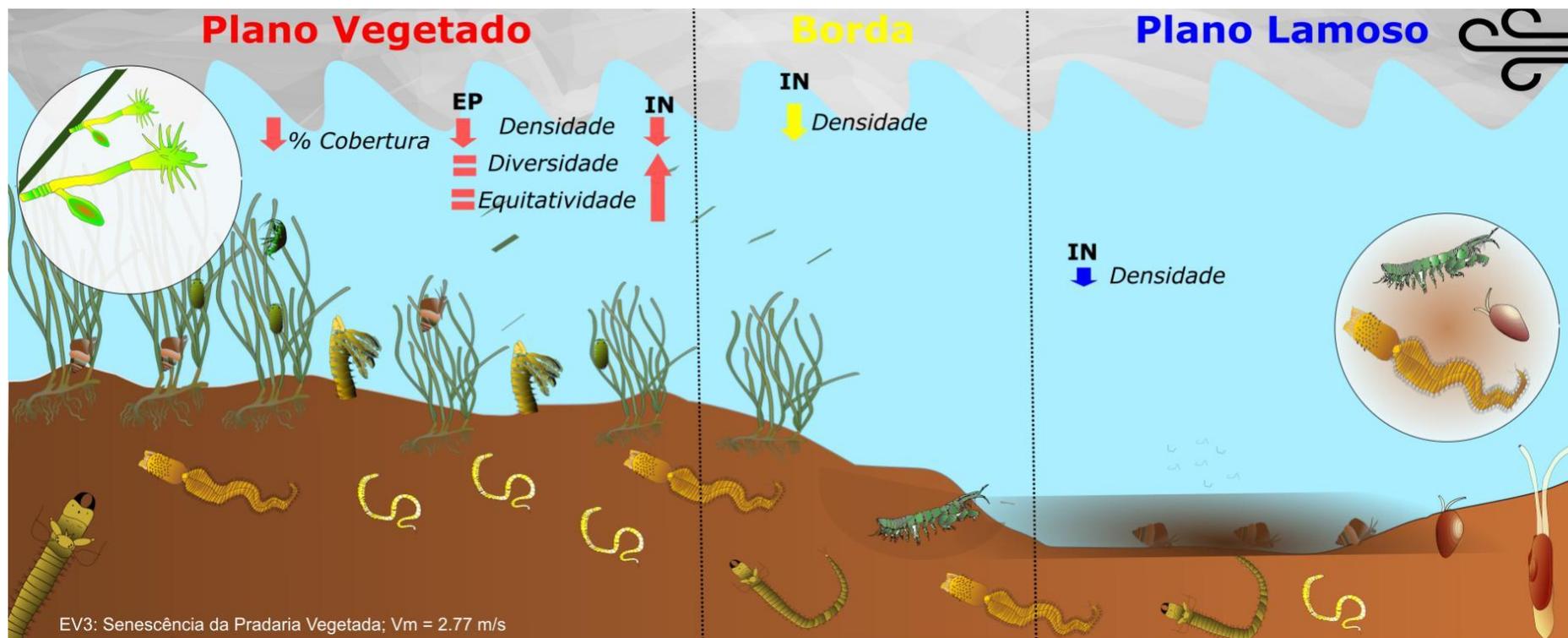


Figura 24. Resumo gráfico do evento três. Aumento (seta para cima), redução (seta para baixo) e ausência (igual) de variações dos descritores sedimentológicos, de vegetação e macrofauna em Plano Vegetado (vermelho), Borda (amarelo) e Plano Lamoso (azul). Destaque para a representação da densidade da pradaria e diversidade do macrobentos.

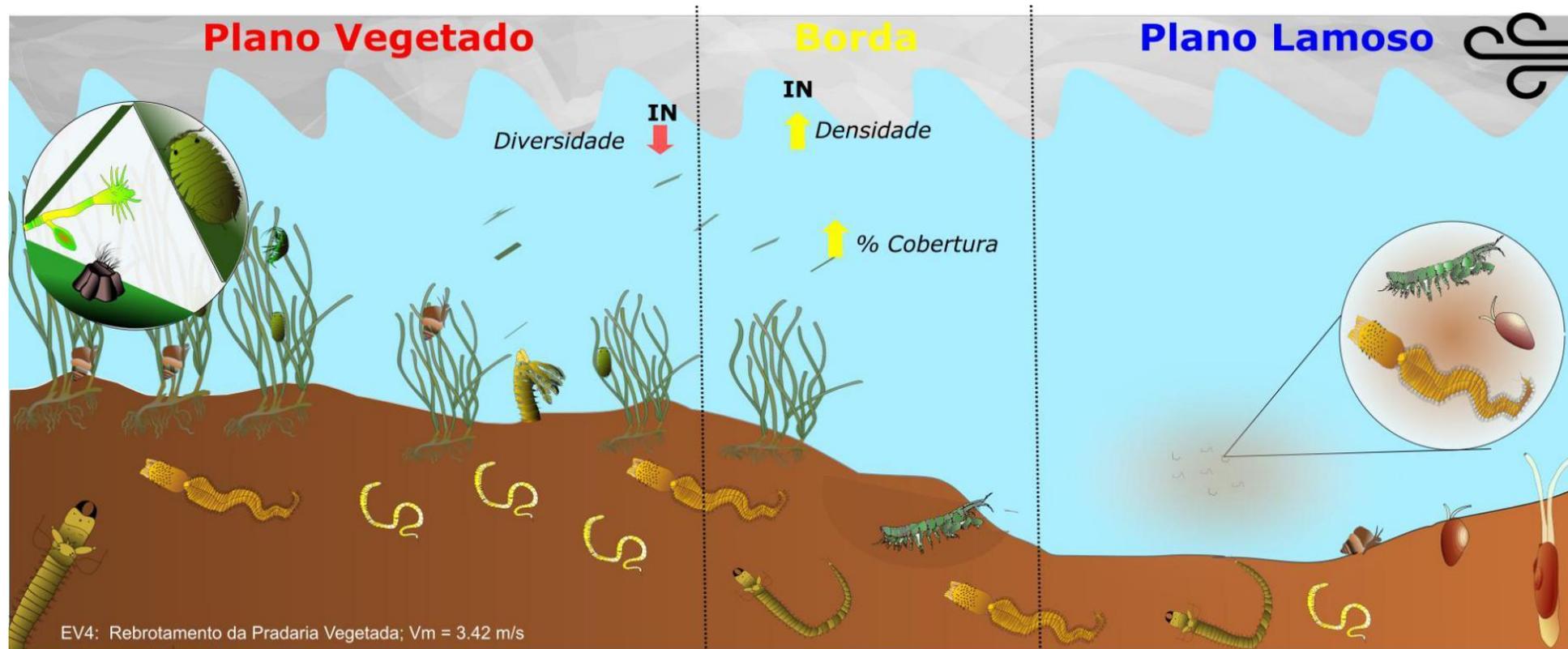


Figura 25. Resumo gráfico do evento quatro. Aumento (seta para cima), redução (seta para baixo) e ausência (igual) de variações dos descritores sedimentológicos, de vegetação e macrofauna em Plano Vegetado (vermelho), Borda (amarelo) e Plano Lamoso (azul). Destaque para a representação da densidade da pradaria e diversidade do macrobentos.