

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MIRELLA DE OLIVEIRA LEIS

INTERAÇÕES ENTRE O AMBIENTE SEDIMENTAR E PRADARIAS DE
Halodule wrightii DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ - PR

PONTAL DO PARANÁ
2012

MIRELLA DE OLIVEIRA LEIS

INTERAÇÕES ENTRE O AMBIENTE SEDIMENTAR E PRADARIAS DE *Halodule wrightii* DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ - PR

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, ao Curso de Graduação em Oceanografia, Setor de Ciências da Terra, Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour.

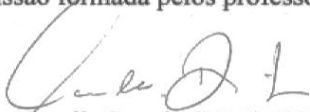
PONTAL DO PARANÁ
2012

TERMO DE APROVAÇÃO


Mirella de Oliveira Leis

“Interações entre o ambiente sedimentar e pradarias de *Halodule wrightii* do Complexo Estuarino de Paranaguá-PR”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Dra. Camila Domit-CEM/UFPR



Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula-DeGeo/UFPR

Pâmela Emanuelly Cattani
MSc. Pâmela Emanuelly Cattani-CEM



Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour-CEM/UFPR
Presidente

Pontal do Paraná, 20 de dezembro de 2012.

Aos que pertencem àquela espécie de gente que mergulha nas coisas às vezes sem saber por que, não sei se na esperança de decifrá-las ou se apenas pelo prazer de mergulhar. Às que vão ao fundo, ainda que fiquem por lá.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour, por estes 5 anos de aprendizado no LOGeo, pelas discussões e pela orientação.

Ao auxílio financeiro da Fundação Araucária, para o projeto de pesquisa intitulado “Caracterização física do Complexo Estuarino de Paranaguá e análise integrada a informações ecológicas: subsídio para a gestão e conservação”. Ao Cnpq, pela bolsa de iniciação científica.

Agradeço a todos os professores que contribuíram para a minha formação acadêmica. Em especial, àqueles que se mostraram sempre disponíveis para sanar minhas dúvidas quanto a este trabalho de conclusão de curso e conversar sobre meus anseios profissionais. Obrigada, Dra. Camila Domit, Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula, Prof. Dr. Paulo da Cunha Lana, Prof. Dr. Maurício Camargo, Prof. Dr. Marcelo Dourado e Prof. Dr. Rodrigo Medeiros.

A todos os funcionários do CEM, à Dona Izis Glaé Bail, e à coordenadora do curso, Dra. Lilian Medeiros.

Às equipes do Laboratório de Oceanografia Geológica (LOGeo) e do Laboratório de Ecologia e Conservação de tartarugas e mamíferos marinhos (LEC), pelo trabalho em campo, auxílio na análise das amostras e por terem me ajudado com discussões biológicas e geológicas e muito bom humor. Um agradecimento especial à Pâmela, que me guiou na elaboração da metodologia deste trabalho.

Aos grandes amigos do GRR2008, com quem tive o prazer de dividir esses cinco anos de graduação. Obrigada Eliandro e Guilherme, pela ajuda com as análises estatísticas. Gilberto, companheiro de todas as horas, obrigada pelas discussões sobre nossos trabalhos madrugada adentro regadas a muito café, por me conhecer como ninguém e, por isso, me dar conselhos valiosos.

Ao Bruno, pelo apoio emocional durante este meu último ano de graduação, por ter estado ao meu lado durante os bons e maus momentos.

Aos meus pais, José Fernando Leis e Patrícia de Oliveira Leis, que sempre me incentivaram a ir para onde meus sonhos e feitos me levassem, mesmo que isso significasse estar longe deles. Ao José Murillo de Oliveira Leis, meu irmãozinho que sempre comemorou comigo todas as minhas vitórias, meu companheiro pra toda a vida.

“A boy comes running up and he asks: What exactly is the ocean? What is the sea? You could hit him with a lot of statistics, and latin names. But the answer isn’t something you’ll find in a book. To really know what the ocean is, you have to see it for yourself. You have to hear it, and taste it. You have to feel its power. To really know the ocean, you have to live it.”

RESUMO

Fanerógamas marinhas desempenham importante papel ecológico em sistemas estuarinos e respondem de forma rápida a mudanças no ambiente, estando sujeitas a impactos em escala mundial. Neste contexto, o conhecimento acerca dos parâmetros sedimentológicos que caracterizam sua ocorrência pode ser utilizado como base na detecção de áreas propícias à ocorrência de fanerógamas marinhas, de forma a fornecer subsídios ao estabelecimento de áreas prioritárias à conservação deste ecossistema. Sendo assim, este trabalho objetivou determinar os padrões de ocorrência e distribuição espaço-temporal de fanerógamas marinhas da espécie *Halodule wrightii* em relação às características dos sedimentos de fundo em áreas rasas do Complexo Estuarino de Paranaguá. O estudo compreendeu duas áreas rasas denominadas Baixio do Perigo, localizada no interior do estuário; e Saco do Limoeiro, próxima à desembocadura. A caracterização sedimentar foi realizada a partir de uma malha amostral regular, composta por 64 pontos dispostos com 50 m de espaçamento. As características da *H. wrightii* (altura média e área de cobertura) foram coletadas nos meses de dezembro de 2009, setembro de 2010, fevereiro e maio de 2011 em uma malha amostral com aproximadamente 20 pontos, aleatoriamente selecionados de um total de 1900 pontos, equidistantes em 10 m. Nestes foram coletadas simultaneamente amostras de sedimentos em fevereiro e maio de 2011. As variáveis ambientais analisadas consistem nos parâmetros estatísticos granulométricos (peneiramento e pipetagem), e quantificação dos teores de carbonatos e matéria orgânica contidos nos sedimentos. Foram efetuadas análises espaciais em ambiente de SIG e estatísticas, por análise multivariada de agrupamento, nas quais foram utilizados os parâmetros diâmetro médio, teor de finos, carbonatos e matéria orgânica. Foi constatado que ocorreram variações espaço-temporais na área de cobertura e altura de *H. wrightii* no CEP, atribuídas a características ambientais relacionadas à localização da área rasa e possivelmente a efeitos de atividade de dragagem. Ainda, que existe heterogeneidade na distribuição das características dos sedimentos, com formação de dois padrões para o Saco do Limoeiro, sendo um deles atribuído à presença e outro à ausência de fanerógamas marinhas. As características relacionadas à ocorrência foram definidas como teor de carbonatos entre 5 e 15 %, de finos > 2,5%, de matéria orgânica < 2,5% e areias finas a grossas, sendo principalmente areias médias. Dessa forma, foram delimitadas áreas quanto sua adequação à ocorrência de *H. wrightii*, classificadas como “muito adequadas”, “moderadamente adequadas” e “pouco adequadas”. O Saco do Limoeiro apresentou 43,45% de sua área como “pouco adequada”, enquanto que o Baixio do Perigo foi classificado principalmente como “muito adequado”, em 49,71% da área rasa. Essas constatações permitem o uso dos descritores sedimentológicos da presença de *H. wrightii* no CEP na aplicação do método de análise espacial em ambiente SIG a fim de delimitar áreas-chave para a conservação do ecossistema.

Palavras-chave: Análise espacial. Fanerógamas marinhas. Áreas rasas.

ABSTRACT

Seagrass meadows play an important ecological role in estuarine systems, and as a result of being highly susceptible to environmental changes, the ecosystem is threatened worldwide. Therefore, by defining the sedimentological parameters that describe its occurrence, it is possible to detect suitable areas for conservation. Therefore, this study aimed to determine the spatial and temporal patterns of occurrence of the seagrass *Halodule wrightii* in relation to bottom sediment characteristics in shallow areas of the Estuarine Complex of Paranaguá. The study comprised two shallow areas, namely "Baixio do Perigo", located within the estuary, and "Saco do Limoeiro", next to the inlet. A regular sampling grid, composed by 64 stations equally spaced on 50 m was used for sedimentary characterization. The characteristics of *H. wrightii* (average height and coverage area) were collected in the months of December 2009, September 2010, February and May 2011 in a sample grid with 30 points, randomly selected from a total of 1900 points, equally spaced on 10 m. These were simultaneously collected with sediment samples in February and May 2011. Environmental variables analyzed consist of granulometric statistical parameters (determined after sieving and pipetting), and the contents of carbonates and organic matter. Spatial analysis were carried out in a Geographic Information System and statistics by Cluster Analysis, in which were used the parameters mean diameter, fines content, carbonates and organic matter. It was found that there were spatial and temporal variations in coverage area and height of *H. wrightii* in CEP, attributed to environmental changes related to the location of the shallow area and possibly the effects of dredging activities. Further, there was heterogeneity in the distribution of the characteristics of the sediments, forming two patterns for the "Saco do Limoeiro", one being attributed to the presence and another to the absence of seagrass. The ideal characteristics for the occurrence of *H. wrightii* were defined as the occurrence carbonate content between 5 and 15%, of fine > 2.5%, organic matter <2.5% and fine sands to coarse, mostly medium. Thus, areas were defined by its suitability to the occurrence of *H. wrightii*, classified as "suitable", "moderately suitable" and "unsuitable." The "Saco do Limoeiro" had 43.45% of its area as "unsuitable" while "Baixio do Perigo" was classified primarily as "suitable", 49.71% in the shallow area. These findings allow the use of sediments as descriptors of the presence of *H. wrightii* in CEP in the method of spatial analysis in GIS in order to define key areas for the conservation of the ecosystem.

Key-words: Spatial Analysis. Marine phanerogams. Shallow areas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Distribuição global de fanerógamas marinhas em regiões biogeográficas. 1. Atlântico Norte Temperado; 2. Atlântico Tropical; 3. Mediterrâneo; 4. Pacífico Norte Temperado; 5. Indo-Pacífico Tropical; 6. Oceanos Austrais Temperados (SHORT <i>et al.</i> , 2007).	16
FIGURA 2 - Distribuição das espécies de fanerógamas marinhas no litoral brasileiro, com ênfase para o limite Sul de distribuição da espécie <i>Halodule wrightii</i> , modificado de Marques & Creed (2008).	17
FIGURA 3 - Modelo conceitual adaptado de Madsen <i>et al.</i> (2001), referente às interações entre hidrodinâmica, sedimentos e macrófitas marinhas. “A” representa baixa densidade e “B”, alta densidade de macrófitas e seu reflexo no ambiente.	19
FIGURA 4 - Mapa da área de estudo correspondente ao Complexo Estuarino de Paranaguá - Paraná, Brasil, com ênfase para as Unidades de Conservação, as extensas áreas rasas (<5m) e margens vegetadas por manguezais. Base cartográfica: LOGeo.	23
FIGURA 5 - Mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio dos sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá (LAMOUR <i>et al.</i> , 2004).	25
FIGURA 6 - Mapa de Compartimentação do CEP de acordo com parâmetros físico-químicos, geológicos e biológicos. Modificado de Cattani (2009).	26
FIGURA 7 - Batimetria da área rasa Saco do Limoeiro (POSSENTI, 2009). Nota-se o declive suave de aumento da profundidade até a isóbata de -10 m.	28
FIGURA 8 - Mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio dos sedimentos de fundo do Saco do Limoeiro (POSSENTI, 2009).	29
FIGURA 9 - Pradaria de <i>Halodule wrightii</i> encontrada no Baixio do Perigo.	30
FIGURA 10 - Mapa de localização das pradarias de <i>Halodule wrightii</i> no Complexo Estuarino de Paranaguá segundo diversos autores (GUEBERT-BARTHOLO <i>et al.</i> , 2011; LANA <i>et al.</i> , 2001; SORDO <i>et al.</i> , 2011).	30
FIGURA 11 - Mapa do Complexo Estuarino de Paranaguá, com destaque para o Baixio do Perigo e Saco do Limoeiro, com detalhamentos de suas respectivas malhas amostrais. Malha amostral de referência utilizada para coleta de dados acerca das fanerógamas marinhas e malha amostral para coleta de sedimentos.	33
FIGURA 12 - Quadrante de 100 m ² usado para a amostragem de <i>H. wrightii</i> , formado por um tubo de PVC com 4 linhas perpendiculares de 5 m de comprimento. Os sedimentos foram coletados no ponto centroide, que corresponde ao tubo de PVC. A área de cobertura foi calculada por Comprimento máximo e Largura máxima do agregado de <i>H. wrightii</i>	34
FIGURA 13 - Fluxograma do planejamento amostral para coleta de dados sedimentológicos e biológicos.	35
FIGURA 14 - Fluxograma de análises granulométricas segundo o método de Suguio (1973) e Carver (1971) modificado de Carneiro (2010).	36
FIGURA 15 - Fluxograma do procedimento de análise do teor de carbonatos e de matéria orgânica contidos nos sedimentos modificado de Carneiro (2010).	37
FIGURA 16 - Fluxograma da metodologia de análise espacial utilizada com auxílio do software ArcGIS 9.3 (© ESRI).	40

FIGURA 17 - Desenho esquemático da metodologia de análise espacial utilizada para a integração dos parâmetros sedimentológicos e definição dos índices de adequação de habitat para fanerógamas marinhas, em ambiente de geoprocessamento.....	43
FIGURA 18 - Variação da altura média (A) e do percentual de cobertura de <i>H. wrightii</i> (B) ao longo do tempo para o Baixio do Perigo e o Saco do Limoeiro (SL - Saco do Limoeiro; BP - Baixio do Perigo).....	45
FIGURA 19 - Análise de agrupamento (Cluster Analysis) referente ao Saco do Limoeiro, com identificação dos padrões 1 e 2 encontrados. Encontra-se representada a identificação do ponto amostral seguida de "P" para presença e "A" para ausência de <i>H. wrightii</i>	47
FIGURA 20 - Mapa de distribuição das pradarias de fanerógamas marinhas e sua respectiva área de cobertura, relacionada ao diâmetro médio (A), teor de matéria orgânica (B), teor de carbonatos (C) e teor de finos (D) dos sedimentos de fundo do Saco do Limoeiro.	50
FIGURA 21 - Mapa de distribuição das pradarias de fanerógamas marinhas e sua respectiva área de cobertura, relacionada ao grau de seleção (A; MBS – Muito bem selecionado; BS – Bem selecionado; MS – Moderadamente selecionado; PS – Pobremente selecionado; MPS – Muito pobremente selecionado), à assimetria (B; Mn – Muito negativa; N – Negativa; Ass – Assimétrica; P – Positiva; Mp – Muito positiva); e à curtose (C; MP – Muito platicúrtica; P – Platicúrtica; M – Mesocúrtica; L – Leptocúrtica; ML – Muito leptocúrtica; EL – Extremamente leptocúrtica) dos sedimentos de fundo do Saco do Limoeiro.	51
FIGURA 22 - Mapa de distribuição das pradarias de fanerógamas marinhas e sua respectiva área de cobertura, relacionada ao diâmetro médio (A), teor de matéria orgânica (B), teor de carbonatos (C) e teor de finos (D) dos sedimentos de fundo do Baixio do Perigo.	53
FIGURA 23 - Mapa de distribuição das pradarias de fanerógamas marinhas e sua respectiva área de cobertura, relacionada ao grau de seleção (A; MBS – Muito bem selecionado; BS – Bem selecionado; MS – Moderadamente selecionado; PS – Pobremente selecionado; MPS – Muito pobremente selecionado), à assimetria (B; Mn – Muito negativa; N – Negativa; Ass – Assimétrica; P – Positiva; Mp – Muito positiva); e à curtose (C; MP – Muito platicúrtica; P – Platicúrtica; M – Mesocúrtica; L – Leptocúrtica; ML – Muito leptocúrtica; EL – Extremamente leptocúrtica) dos sedimentos de fundo do Baixio do Perigo.	54
FIGURA 24 - Mapa em formato matricial (raster) com células de 10m representando a integração das variáveis sedimentológicas pelo índice de adequação de habitat (1 - "Pouco adequada"; 2 - "Moderadamente adequada"; 3 - "Muito adequada") relacionado à área de cobertura (A;C) e altura (B;D) de <i>H. wrightii</i> no Saco do Limoeiro (A;B) e Baixio do Perigo (C;D).....	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Critérios utilizados para a classificação de áreas rasas quanto à adequação para ocorrência de <i>Halodule wrightii</i> . “Adequado” indica limites indicados pela literatura para a definição de áreas propícias ao desenvolvimento de fanerógamas marinhas.	41
TABELA 2 - Classes de adequabilidade para cada área rasa com a área correspondente em m ² e em percentual da área total amostrada.....	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. GERAL.....	15
2.2. ESPECÍFICOS	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1. FANERÓGAMAS MARINHAS.....	15
3.1.1. INTERAÇÕES COM O AMBIENTE	18
4. ÁREA DE ESTUDO.....	22
4.1. PRADARIAS DE <i>HALODULE WRIGHTII</i> DO PARANÁ.....	29
5. MATERIAL E MÉTODOS	32
5.1. PLANEJAMENTO AMOSTRAL E COLETA DE DADOS	32
5.2. PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS.....	35
5.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	37
5.4. ANÁLISE ESPACIAL.....	38
6. RESULTADOS.....	43
6.1. CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR	43
6.2. DISTRIBUIÇÃO E VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DAS FANERÓGAMAS MARINHAS	44
6.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	46
6.4. ANÁLISE ESPACIAL.....	49
6.5. MAPAS DE ADEQUAÇÃO DE HÁBITAT	55
7. DISCUSSÃO.....	57
8. CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

Fanerógamas marinhas são plantas superiores que geralmente se estabelecem nas áreas rasas de regiões estuarinas. Estas desempenham importante papel no sequestro de carbono da atmosfera, exportação de carbono orgânico para ecossistemas adjacentes, e na ciclagem de nutrientes. Ainda, atuam na proteção costeira pela atenuação da energia hidrodinâmica e estabilização do substrato, com prevenção da ressuspensão de sedimentos e aumento da transparência da água. Contribuem para a manutenção das teias tróficas da zona costeira, como hábitat, área de alimentação e berçário para diversas espécies de moluscos, crustáceos, peixes, répteis e mamíferos, que muitas vezes estão ameaçadas de extinção e/ou são comercialmente exploradas (HEMMINGA & DUARTE, 2000).

Apesar de reconhecida sua função no ambiente costeiro, Orth *et al.*, (2006) apontam para uma crise global no ecossistema formado pelas pradarias de fanerógamas marinhas, sendo notada tendência de declínio ao longo da costa Leste das Américas (SHORT *et al.*, 2006). Os impactos antrópicos a que as pradarias estão submetidas podem ocorrer pela remoção ou soterramento das fanerógamas marinhas, associadas a atividades de dragagem (ERFTEMEIJER & LEWIS III, 2006), ancoragem (CREED & AMADO FILHO, 1999) e construção de aterros (DUARTE, 2002). Ainda, outros impactos negativos como o florescimento massivo de algas epífitas (SORDO, 2008) podem ser gerados pela eutrofização, como consequência do lançamento de efluentes industriais, domésticos ou das atividades de aquicultura (DELGADO *et al.*, 1999).

Condições ambientais favoráveis à ocorrência de fanerógamas marinhas (HEMMINGA & DUARTE, 2000) estão associadas à profundidade, disponibilidade de luz, turbidez, energia hidrodinâmica, salinidade, temperatura e características dos sedimentos (KOCH, 2001). A interação entre as fanerógamas marinhas, a hidrodinâmica e a dinâmica sedimentar é complexa, uma vez que o ambiente sedimentar e as forçantes físicas afetam o seu crescimento e distribuição, e as pradarias, por sua vez, afetam diretamente o ambiente no qual se estabeleceram

(MADSEN *et al.*, 2001). Por esse motivo, são conhecidas como engenheiras do ecossistema, sendo capazes de alterar as condições iniciais de fluxo, turbidez e granulometria (KOCH, 2001; BOS *et al.*, 2007; VAN KATWIJK *et al.*, 2010).

Neste sentido, o estudo das relações entre padrões de distribuição dos sedimentos e a ocorrência de vegetação aquática submersa fornece base para compreender processos sedimentares costeiros e sua significância ecológica (DE FALCO *et al.*, 2000). Além disso, avaliar o papel do controle biológico sobre a distribuição das características dos sedimentos, e o contrário, uma vez que as características dos sedimentos em relação à disponibilidade de nutrientes, oxigenação, teor de matéria orgânica, e à granulometria, são condição para a ocorrência das pradarias e importantes para o crescimento da vegetação (BARKO & SMART, 1986; BARKO *et al.*, 1986; BARKO *et al.*, 1991; KOCH, 2001; MATHESON & SCHWARZ, 2007).

Os requisitos do hábitat para fanerógamas marinhas têm sido investigados no sentido de garantir a conservação do ecossistema e o sucesso de iniciativas de plantio em áreas de disposição de material dragado, bem como a recuperação de áreas degradadas (KALDY *et al.*, 2004; BRADLEY & STOLT, 2006). Além disso, a definição destas condições têm se mostrado uma eficaz ferramenta na adoção de medidas de gestão para o ecossistema, ao prevenir seu declínio pela definição e delimitação de áreas vulneráveis a impactos adotando estratégias de conservação.

O ecossistema formado pelas pradarias de fanerógamas marinhas é utilizado como área de alimentação para a tartaruga-verde (*Chelonia mydas*), considerada sob ameaça de extinção (IUCN, 2012). O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) constitui importante área de desenvolvimento para a espécie no Oceano Atlântico Sul Ocidental (ROSA, 2009; GUEBERT-BARTHOLO *et al.*, 2011; SORDO *et al.*, 2011). Dessa forma, faz-se necessária a delimitação das áreas propícias à ocorrência de fanerógamas marinhas *Halodule wrightii* Ascherson, 1868 e compreensão de sua dinâmica espacial e temporal, a fim de fornecer subsídios para a conservação do ecossistema.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Determinar as relações espaço-temporais entre as fanerógamas marinhas da espécie *Halodule wrightii* e a distribuição dos sedimentos de fundo em áreas rasas do Complexo Estuarino de Paranaguá.

2.2. ESPECÍFICOS

- Caracterizar a distribuição dos sedimentos de fundo de duas áreas rasas do CEP onde ocorrem fanerógamas marinhas;
- Avaliar as variações espaço-temporais das pradarias de *Halodule wrightii* quanto às condições energéticas do meio de ocorrência;
- Definir as características dos sedimentos que descrevem as condições adequadas para ocorrência das fanerógamas marinhas;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. FANERÓGAMAS MARINHAS

Fanerógamas marinhas são plantas superiores (Angiospermae) adaptadas ao ambiente marinho. Existem duas Famílias, Potamogetonaceae e Hydrocharitaceae, compreendendo 12 gêneros e aproximadamente 50 espécies (HEMMINGA & DUARTE, 2000). Estima-se que o seu recobrimento em escala mundial, represente

10% da área dos oceanos, que é correspondente à área ocupada por recifes de coral, manguezais e macroalgas (HEMMINGA & DUARTE, 2000).

Short *et al.* (2007) definiram seis regiões biogeográficas para distribuição de fanerógamas marinhas em escala mundial (Figura 1). A região correspondente ao Mar do Caribe, Golfo do México, Bermuda, Bahamas e as zonas costeiras tropicais do Atlântico foram denominadas “Atlântico Tropical”, sendo caracterizadas pela “moderada” diversidade de espécies de fanerógamas marinhas, totalizando seis gêneros (*Cymodocea*, *Enhalus*, *Syringodium*, *Thalassia*, *Halodule* e *Halophila*) e 10 espécies. O gênero *Halodule* tem ampla distribuição tropical, e é dominante nas bio-regiões Indo-Pacífico Tropical (Figura 1; bio-região 5) e Atlântico Tropical (Figura 1; bio-região 2), somente se estendendo em poucos locais de águas temperadas (SHORT *et al.*, 2007).

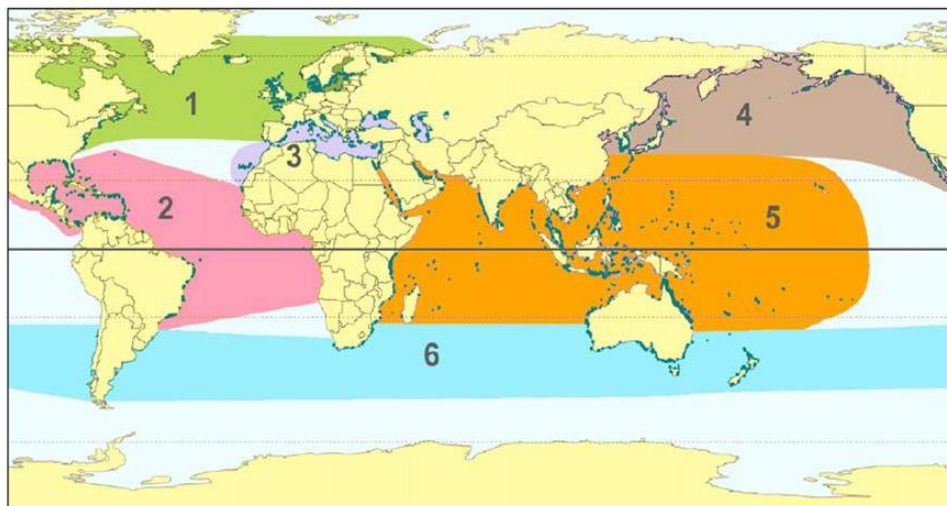


Figura 1 - Distribuição global de fanerógamas marinhas em regiões biogeográficas. 1. Atlântico Norte Temperado; 2. Atlântico Tropical; 3. Mediterrâneo; 4. Pacífico Norte Temperado; 5. Indo-Pacífico Tropical; 6. Oceanos Austrais Temperados (SHORT *et al.*, 2007).

As espécies de fanerógamas marinhas do Brasil representam de 5-9% das registradas no mundo (CREED, 2000), que compõem um total de cinco espécies correspondentes aos gêneros *Halodule* (Cymodoceaceae), *Halophila* (Hydrocharitaceae) e *Ruppia* (Ruppiaceae) (MARQUES & CREED, 2008). Estão distribuídas em regiões estuarinas caracterizadas por sedimentos areno-lamosos (Figura 2). *Halodule wrightii* é a espécie dominante (CREED, 1999), cujo limite sul de

distribuição corresponde ao Estado do Paraná, sendo mais abundante em águas mais quentes do nordeste do Brasil.

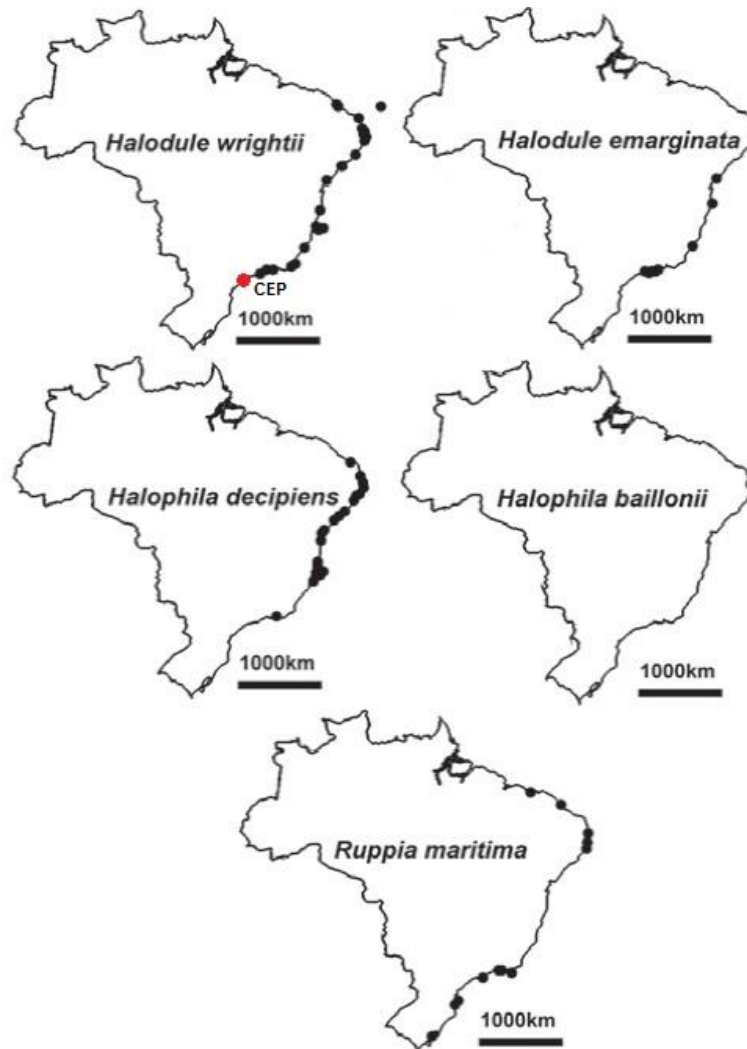


Figura 2 - Distribuição das espécies de fanerógamas marinhas no litoral brasileiro, com ênfase para o limite Sul de distribuição da espécie *Halodule wrightii*, modificado de Marques & Creed (2008).

No Brasil, as fanerógamas marinhas foram estudadas quanto a sua riqueza, ocorrência e distribuição (DEN HARTOG, 1972; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 1983; CREED, 1997), variações em biomassa e morfológicas (CREED, 1997; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 1997; SORDO *et al.*, 2011); variações sazonais (CREED, 1999); aspectos de sua biologia e ecologia (MARQUES & CREED, 2008); impactos antrópicos a que estão sujeitas (CREED & AMADO-FILHO, 1999; AMADO-FILHO *et al.*, 2004); e fauna e flora associada (OMENA & CREED, 2004; SORDO, 2008;

GUEBERT-BARTHOLO *et al.*, 2011). No entanto, informações quanto às condições sedimentológicas favoráveis à sua ocorrência foram abordadas somente no decorrer de estudos com outro enfoque (SORDO *et al.*, 2011).

3.1.1. INTERAÇÕES COM O AMBIENTE

Segundo Koch (2001), por muito tempo os estudos acerca dos requisitos do hábitat para a ocorrência de fanerógamas marinhas se limitaram em focar na luz e parâmetros associados à sua modificação. No entanto, condições ótimas de luz nem sempre estão associadas a áreas adequadas quando outros parâmetros são limitantes. Parâmetros físicos (ondas, correntes, marés e turbulência), geoquímicos (concentração de sulfeto) e geológicos (granulometria, teor de matéria orgânica, etc.) também devem ser considerados como responsáveis pela adequação das fanerógamas marinhas a seu habitat (KOCH, 2001).

A profundidade, como função da disponibilidade de luz, atua no sentido de limitar a extensão das pradarias de fanerógamas marinhas. Os limites de profundidade para a ocorrência de fanerógamas marinhas podem variar entre o nível médio do mar e a isóbata -90 m, dependendo das características de cada espécie e da atenuação da luz na coluna d'água (DUARTE, 1991). Segundo Koch (2001), a profundidade de ocorrência também está relacionada à presença de epífitas, material particulado em suspensão e abundância de nutrientes.

Apesar de a luz ser um fator importante a ser considerado quando se busca determinar os requisitos ambientais para a ocorrência das fanerógamas marinhas, ainda não explica as variações na distribuição das pradarias dentro dos limites de profundidade ou a sua ausência quando a penetração de luz é igual à encontrada em pradarias adjacentes (KOCH, 2001).

Assim, a energia de ondas, por exemplo, pode ser responsável por determinar a distribuição espacial e o percentual de cobertura de pradarias de fanerógamas marinhas. A atuação deste fator pode ser percebida em profundidades intermediárias onde a dessecação da vegetação pela emersão (limite superior) e a

disponibilidade de luz (limite inferior) deixam de ser fatores limitantes (STEVENS & LACY, 2012).

Madsen *et al.* (2001) trata de macrófitas submersas de maneira geral em uma revisão acerca de suas interações com a hidrodinâmica e sedimentos. Segundo estes autores, quando ou onde as pradarias são esparsas (Figura 3A) a velocidade da corrente é pouco afetada, e a ressuspensão de sedimentos é relativamente alta, bem como a turbidez e a atenuação de luz. Pelo contrário, quando ou onde as pradarias são abundantes (Figura 3B), as correntes são fortemente atenuadas, levando à redução da ressuspensão de sedimentos, da turbidez e atenuação de luz (MADSEN *et al.*, 2001).

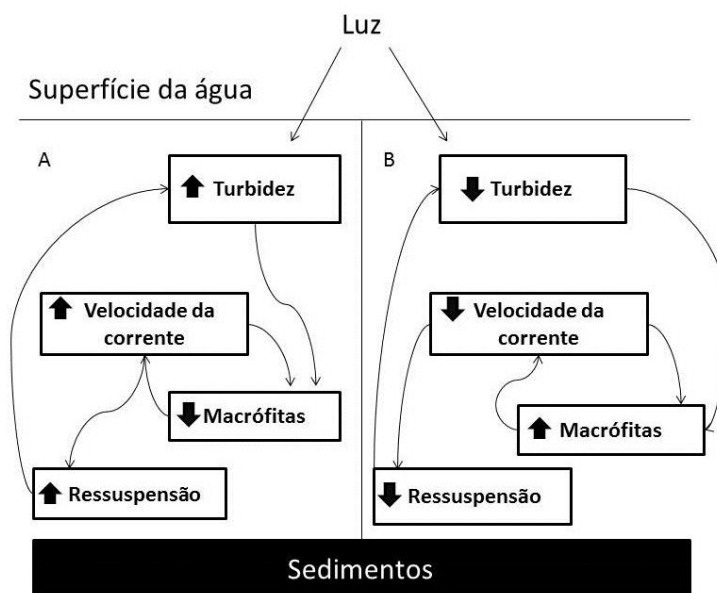


Figura 3 - Modelo conceitual adaptado de Madsen *et al.* (2001), referente às interações entre hidrodinâmica, sedimentos e macrófitas marinhas. “A” representa baixa densidade e “B”, alta densidade de macrófitas e seu reflexo no ambiente.

A atenuação de ondas por pradarias é função da altura, densidade e área de cobertura das fanerógamas marinhas, além da profundidade do local (FONSECA & FISHER, 1986; FONSECA & CALAHAN, 1992; KOCH, 2001; FONSECA & KOEHL, 2006). Fonseca & Calahan (1992) verificaram que para *Halodule wrightii*, o percentual de atenuação da energia de ondas é da ordem de 40%. A efetividade na redução da energia de ondas é menos significativa com o aumento da profundidade,

sendo insignificante quando a profundidade considerada é maior ou igual a duas vezes à altura média das fanerógamas marinhas (FONSECA & CALAHAN, 1992). No entanto, mesmo quando a altura corresponde a 20 % da coluna de água, o fator de fricção é ao menos o dobro do encontrado para áreas adjacentes não vegetadas (FONSECA & FISHER, 1986).

A área de cobertura apresenta relação inversa em relação à efetividade na atenuação da energia hidrodinâmica, mas associada a um aumento na turbulência no interior da pradaria (FONSECA & KOEHL, 2006). Segundo Fonseca & Koehl (2006), esse aumento de turbulência estaria relacionado com a ressuspensão e transporte de sedimentos finos do interior da pradaria, com seleção de um diâmetro médio maior.

Em consequência da alteração da energia hidrodinâmica, o estabelecimento de pradarias de fanerógamas marinhas pode alterar o teor de carbonatos (DE FALCO *et al.*, 2003; DE FALCO *et al.*, 2008; GACIA *et al.*, 2003), ocasionar acreção sedimentar (BOS *et al.*, 2007; HARLIN *et al.*, 1982; WARD *et al.*, 1984) e aumentar os teores de finos (BOS *et al.*, 2007), sendo um resultado, e não a causa, da presença das fanerógamas marinhas.

Assim, o processo de acreção sedimentar se daria, segundo Gacia *et al.* (1999), pela capacidade das pradarias em aumentar a velocidade de cisalhamento, dissipar a energia e aumentar a altura da camada limite. Desta forma, as taxas de ressuspensão seriam reduzidas pela dissipação de energia, e a altura de maior turbulência seria elevada a além da ocupada pela pradaria.

Estas condições são responsáveis também por ocasionar a redução do material particulado em suspensão em pradarias em relação a áreas não vegetadas adjacentes (WARD *et al.*, 1984). Isso ocorre pelos mecanismos de retenção de partículas sedimentares (finos) nos filamentos vegetais e pelo sistema de rizomas e raízes que estabilizam o substrato (BURREL & SCHUBEL, 1977).

No entanto, Ward *et al.* (1984) constataram que em períodos de maré de sizígia associada à incidência de sistemas frontais, as pradarias mostraram-se menos efetivas na retenção e acreção de sedimentos, com ressuspensão ocasionando aumento do material particulado em suspensão. Em pradarias de *Halodule wrightii* foi observada a ocorrência de redução do teor de finos e aumento no teor de cascalho (refletindo alto teor de carbonatos), também associados à

ressuspensão e transporte de partículas sedimentares menores (KALDY *et al.*, 2004).

Segundo Van Katwijk *et al.* (2010) ambos os processos ocorrem, a ressuspensão e a deposição sedimentar, mas a dominância de um deles irá depender da densidade da pradaria, composição sedimentar e exposição à energia hidrodinâmica. Essa alternância entre processos de deposição e ressuspensão pode ocorrer, por exemplo, ao longo do período de um ano, sendo constatada acreção de finos durante o verão, que corresponde à estação de maior desenvolvimento, e ressuspensão durante o inverno, em pradarias de *Z. marina* (BOS *et al.*, 2007).

A redução do fluxo, associada a pradarias mais densas, ocasiona o aprisionamento de partículas sedimentares de granulometria mais fina (“*muddification*”), enquanto que a ressuspensão, gerada pelo aumento da turbulência (“*sandification*”), é associada à presença de pradarias menos densas (VAN KATWIJK *et al.*, 2010). A atuação dos dois mecanismos seria responsável por ocasionar uma condição “ótima” ao desenvolvimento das pradarias, que seria uma condição intermediária entre eles. A turbulência e ressuspensão atuariam no sentido de oxigenar o substrato que, quando lamoso, cria condições desfavoráveis à pradaria; já a deposição de finos associada a um aumento no teor de matéria orgânica seria um mecanismo para aumentar os nutrientes disponíveis para o crescimento das plantas em substratos pobres, de granulometria mais grossa (VAN KATWIJK *et al.*, 2010).

As características dos sedimentos são, portanto, ao mesmo tempo resultado das interações das fanerógamas marinhas com a hidrodinâmica e condição para seu estabelecimento e desenvolvimento (MATHESON & SCHWARZ, 2007). Menor granulometria tende a acumular maior teor de matéria orgânica, o que ocasiona redução nas trocas de oxigênio na interface sedimento-água, gerando um ambiente anóxico favorável ao aumento nos teores de sulfeto, prejudicial às fanerógamas marinhas. Essa condição desfavorável é mais evidente em ambientes com maior salinidade, sendo o aumento do diâmetro médio um mecanismo responsável por aumentar a oxigenação no substrato e, assim, reduzir os níveis de sulfeto. No entanto, maior diâmetro médio representa, ao mesmo tempo, redução na disponibilidade de nutrientes necessários ao desenvolvimento de fanerógamas marinhas (KOCH, 2001).

Dessa forma, Koch (2001) definiu os requisitos do hábitat para a presença de fanerógamas marinhas com base em extensa revisão bibliográfica quanto às características dos sedimentos, como sendo o teor de finos adequado inferior a 20%; o teor de matéria orgânica, inferior a 5% e o diâmetro médio entre areias finas a médias. No entanto, esses limites foram estabelecidos com base em compilação de dados da literatura que trata do tema, e, portanto, a autora sugere que sejam feitos estudos quanto aos limites específicos para ocorrência considerando diferentes ambientes e espécies de fanerógamas marinhas.

4. ÁREA DE ESTUDO

O CEP (Figura 4) ($25^{\circ} 30' S/48^{\circ} 25' W$) é composto por dois eixos principais com orientações geográficas distintas, sendo as baías de Antonina e de Paranaguá dispostas na direção E-W, e das Laranjeiras e de Guaraqueçaba na direção N-S. Tais corpos aquosos conectam-se com o Oceano Atlântico por duas desembocaduras, separadas entre si pela Ilha do Mel. Lamour & Soares (2007) ressaltaram que a margem Norte do eixo E-W apresenta extensas Unidades de Conservação, enquanto que a margem Sul tem intenso uso portuário, onde são realizadas obras de dragagem de aprofundamento e manutenção no canal de acesso aos portos de Paranaguá e Antonina. Além destas atividades, o uso do espaço costeiro se dá por meio de atividades de pesca artesanal e turismo, o que reflete a sua importância social para a região.

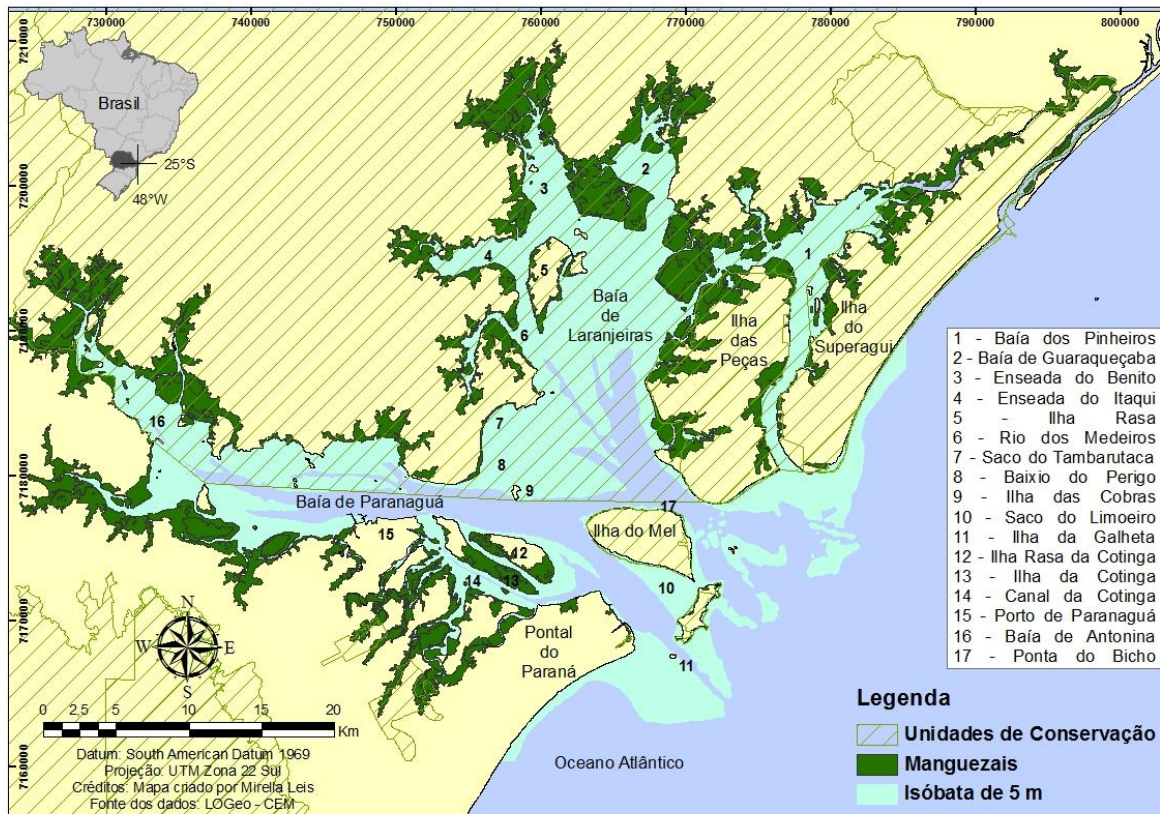


Figura 4 - Mapa da área de estudo correspondente ao Complexo Estuarino de Paranaguá - Paraná, Brasil, com ênfase para as Unidades de Conservação, as extensas áreas rasas (<5m) e margens vegetadas por manguezais. Base cartográfica: LOGeo.

O regime de marés é do tipo semi-diurna (M2), com amplitude de 2,2 m. (LANA *et al.*, 2001). A hidrodinâmica do CEP é governada principalmente por forçantes atmosféricas (regime de chuvas e ventos), sendo que sob condições de incidência de sistemas frontais, a amplitude de maré meteorológica chega a ultrapassar em 0,8 m o valor encontrado para marés astronômicas (MARONE & CAMARGO, 1994).

A temperatura média do ar na planície costeira paranaense varia de 22 – 24°C no verão e de 15 – 17°C no inverno (VANHONI & MENDONÇA, 2008). As variações ocorrem, principalmente, em função do relevo, diferenças de pressão e maritimidade, mas de maneira geral ocorre relativa homogeneidade ao longo do período de um ano, exceto em anos de El Niño, em que nota-se sua influência no clima do Paraná (VANHONI & MENDONÇA, 2008).

As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, não havendo um período considerado seco (VANHONI & MENDONÇA, 2008). A média pluviométrica anual é

de 2435,8 mm, sendo maior durante os meses de verão, principalmente janeiro (350 mm; VANHONI & MENDONÇA, 2008). A menor média pluviométrica corresponde ao mês de agosto ($\approx 80 - 150$ mm) sendo baixa durante todo o inverno (VANHONI & MENDONÇA, 2008), quando a transparência da água é maior (MACHADO *et al.*, 1997) e os valores encontrados para concentração de material particulado em suspensão são 40% menores em relação ao verão (LANA *et al.*, 2001).

A salinidade varia temporalmente de 12 – 29 no verão e de 20 – 34 no inverno, apresentando gradiente espacial ao longo do CEP em uma região euhalina (~ 30), mais externa; polihalina, central; e oligo a mesohalina (0 – 15), nos setores internos, de baixa energia (LANA *et al.*, 2001).

De maneira geral, os sedimentos do CEP (Figura 5) variam entre siltes finos e areias finas, sendo pobremente selecionados, com 40-60% de partículas sedimentares grossas ($>0,063$ mm), e com 0-20% de carbonatos e 0-30% de matéria orgânica. No entanto, ocorrem variações espaciais, com maior teor de sedimentos finos ($<0,063$ mm) e matéria orgânica e menor grau de seleção nas áreas rasas (<5 m) internas. Já nas regiões de desembocadura dos rios e do próprio CEP são encontrados maior teor de grossos e maior grau de seleção (LAMOUR *et al.*, 2004).

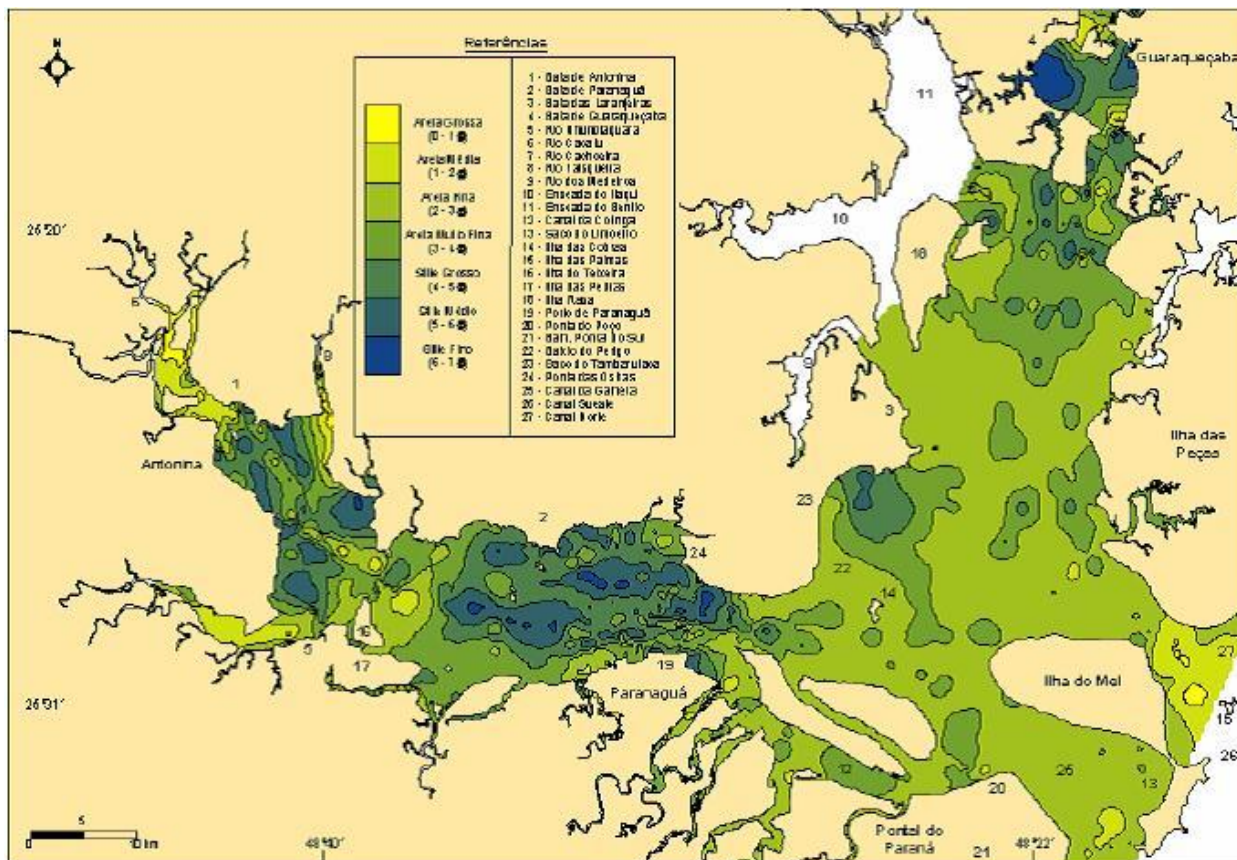


Figura 5 - Mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio dos sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá (LAMOUR *et al.*, 2004).

Cattani (2009) segmentou o CEP em (i) Cabeceira do Estuário; (ii) Zona de Máxima Turbidez; (iii) Desembocadura do Estuário e (iv) Plataforma Continental Interna (Figura 6), conforme a distribuição de granulometria, temperatura, densidade, clorofila, turbidez, material particulado em suspensão, localização da Zona de Máxima Turbidez e presença de lama fluida. Segundo esta compartimentação, as áreas rasas (Baixio do Perigo e Saco do Limoeiro; Figura 6) encontram-se inseridas no setor denominado “Desembocadura do Estuário”, caracterizado por granulometria variando de areia média (0,500 – 0,250 mm) a silte grosso (0,063 – 0,031 mm); MPS 35 mgL⁻¹, Clorofila 5 µgL⁻¹, Densidade 1019 Kgm⁻³ e Salinidade 29 na superfície e 32 no fundo.

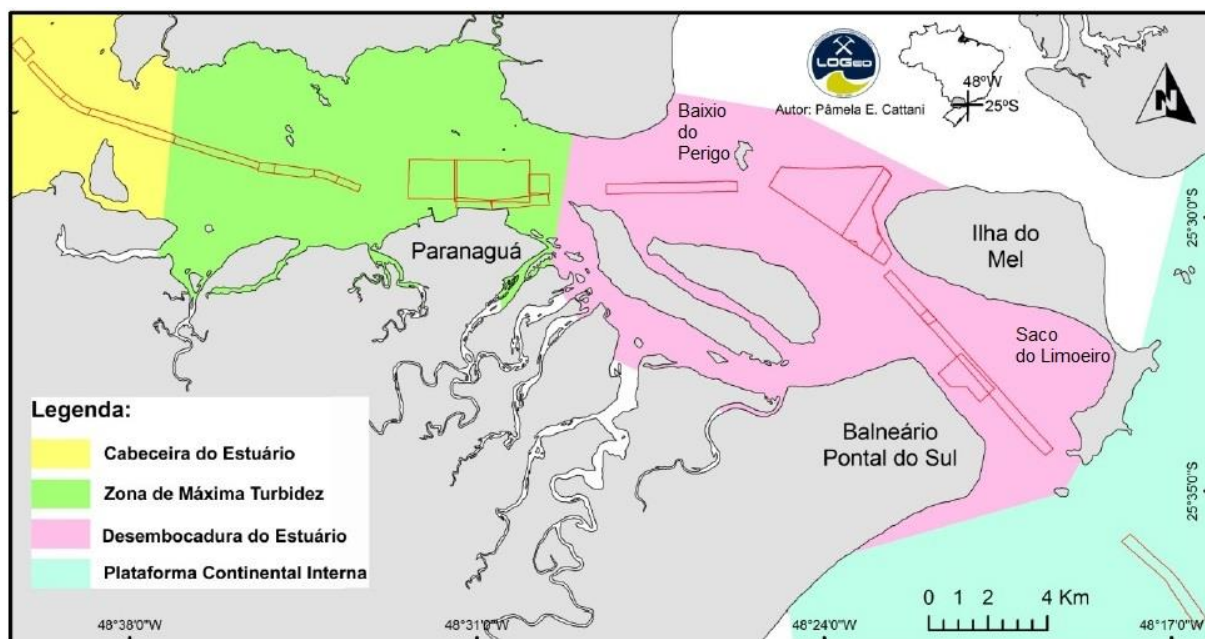


Figura 6 - Mapa de Compartimentação do CEP de acordo com parâmetros físico-químicos, geológicos e biológicos. Modificado de Cattani (2009).

Netto & Lana (1997) compartimentaram o CEP em três setores distintos: Mesohalino, Polihalino e Euhalino. Segundo esta classificação, o “Setor Mesohalino” compreende a Baía de Antonina e caracteriza-se por baixa energia hidrodinâmica, sedimentos siltico-argilosos, altos teores de matéria orgânica e de água intersticial; o “Setor Polihalino” corresponde à região entre as ilhas da Cotonga e das Peças, com predominância de alto teor de areia de granulometria areia muito fina e pobremente selecionada, com baixo teor de água intersticial e de matéria orgânica contida; o “Setor Euhalino” se situa entre as ilhas do Mel e Rasa da Cotonga, constituindo um ambiente de alta energia, associado à desembocadura. Este setor é dominado por sedimentos de granulometria areia fina, bem selecionada, com baixo teor de finos, de matéria orgânica e de água intersticial.

As áreas rasas no CEP correspondem a 24,6 % de sua área total de 551,8 km², (NOERNBERG *et al.*, 2006) que podem ficar emersas durante períodos de baixamar de sizígia (ANGULO *et al.*, 2004). Dentre estas, destacam-se o Baixio do Perigo, por sua extensão, localizado ao Norte da Ilha das Cobras; e o Saco do Limoeiro, por estar localizado próximo à Ilha do Mel, que apresenta 93% de sua área total destinada a Unidades de Conservação de Uso Integral.

As áreas rasas estudadas encontram-se em setores distintos que subdividem a “Desembocadura do Estuário” de acordo com a classificação proposta por Netto & Lana (1997), com base nas características físico-químicas, dos sedimentos e hidrodinâmicas, bem como sua associação com marismas e áreas rasas não vegetadas adjacentes.

O Baixio do Perigo estende-se pelo interior do CEP, com área aproximada de 9,22 km² em uma região que corresponde ao setor polihalino (NETTO & LANA, 1997). Constitui um ambiente de baixa energia hidrodinâmica, formado numa “zona de sombra” das correntes de maré vazante, com profundidades menores que 2m (ANGULO, 2004). A região apresenta sedimentos com diâmetro médio variando entre os siltes médios e grossos, moderadamente selecionados, com teores de carbonatos contidos superiores a 20 % (LAMOUR *et al.*, 2004).

O Saco do Limoeiro apresenta uma área total aproximada de 12 km² (LAMOUR, 2007) junto à desembocadura Sul do CEP, na face SW da Ilha do Mel. Esta área está localizada no setor euhalino (Netto & Lana, 1997) e constitui uma feição deposicional arenosa submersa ou semi-submersa que compõe um hemi-delta de maré enchente (ANGULO, 1999; ANGULO, 2004), com ambiente praiial adjacente classificado como “terraços de baixamar reflexivos de circulação normal” (POSSENTI, 2009).

Segundo Araújo (2001), a batimetria do Saco do Limoeiro varia de 1 – 5 m com inclinação suave, mas com uma variação abrupta próxima à linha isobatimétrica 10 m, variando abruptamente de 4 a 14 m (POSSENTI, 2009; Figura 7). Nessa área rasa há um canal para entrada de embarcações de turismo, que é mantido com dragagens periódicas. Os sedimentos dragados são dispostos na área adjacente ao canal, que corresponde ao Saco do Limoeiro.

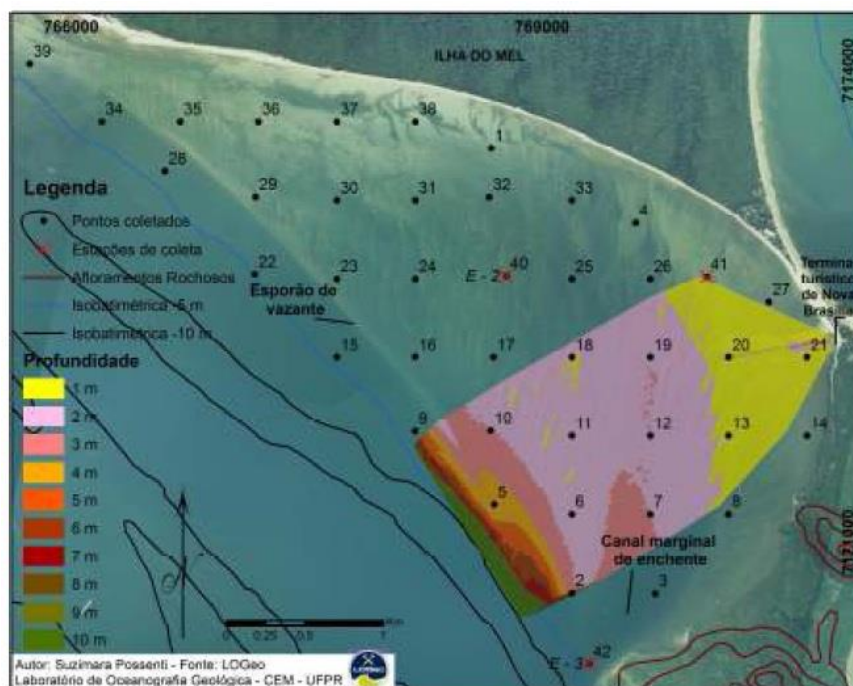


Figura 7 - Batimetria da área rasa Saco do Limoeiro (POSSENTI, 2009). Nota-se o declive suave de aumento da profundidade até a isóbata de -10 m.

A velocidade média das correntes de maré é da ordem de 20 cm.s^{-1} durante ciclos de sizígia (ARAÚJO, 2001), sendo verificadas correntes de menor intensidade próximas à costa ($7 - 26 \text{ cm.s}^{-1}$), passando a velocidades intermediárias ($23 - 40 \text{ cm.s}^{-1}$) e intensas de 93 cm.s^{-1} em direção às maiores profundidades encontradas nos limites da área rasa (POSSENTI, 2009).

As condições de fluxo foram consideradas por Possenti (2009) como propícias para o transporte sedimentar por carga de fundo, a partir dos 18 cm.s^{-1} . A mesma autora identificou diferentes regiões na área rasa de acordo com a modalidade de transporte sedimentar e feições de fundo associadas. A primeira, onde o transporte sedimentar não tem condições de ocorrer ($< 1 \text{ m}$), associado à formação de ondulações romboides por ação de pequenas ondas. Outra região onde ocorre o transporte sedimentar por arraste (aproximadamente - 2 m) a uma taxa de $1,33 \text{ g.h}^{-1}$ associado à migração de formas de fundo, caracterizadas como ondulações pequenas e estas sobrepostas a megaondulações. E, ainda, uma terceira região onde o transporte sedimentar ocorre por tração ($> - 3 \text{ m}$), como resultado da ação das correntes de maré no canal de enchente, a taxas de $48,99$

g.h^{-1} , onde podem ser identificadas formas de fundo típicas de um canal arenoso, como ondulações grandes associadas a pequenas ondulações de correntes.

No Saco do Limoeiro, de maneira geral, predominam areias finas (ARAÚJO, 2001; LAMOUR, 2007; POSSENTI, 2009; Figura 8), moderadamente selecionadas (POSSENTI, 2009), com teores de carbonatos e de matéria orgânica inferiores a 5% (ARAÚJO, 2001; POSSENTI, 2009), com a ocorrência de picos de 15 – 25% de carbonatos e maiores de 8% para matéria orgânica (POSSENTI, 2009).

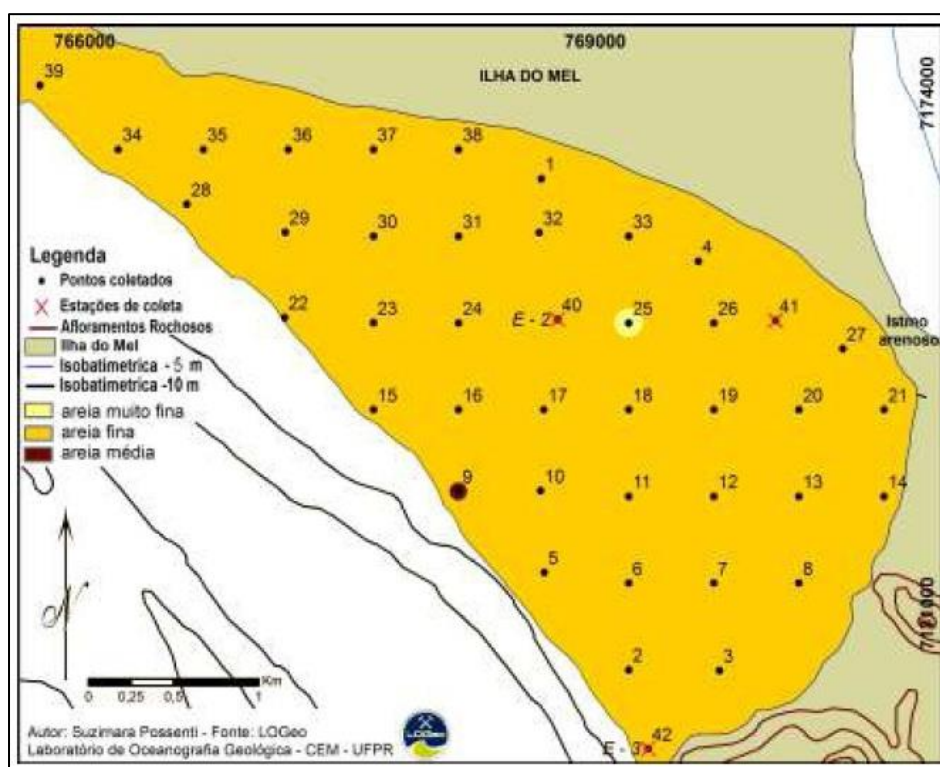


Figura 8 - Mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio dos sedimentos de fundo do Saco do Limoeiro (POSSENTI, 2009).

4.1. PRADARIAS DE *HALODULE WRIGHTII* DO PARANÁ

O litoral do Paraná apresenta diversos ambientes naturais, como restingas, manguezais, marismas, costões rochosos, extensas planícies de maré e pradarias submersas (LANA *et al.*, 2001). As pradarias de fanerógamas marinhas da espécie *Halodule wrightii* (Figura 9) recobrem cerca de 10,2 km² da região euhalina do CEP, em profundidades que variam de 1 a 5 m, nas áreas rasas próximas às ilhas Rasa

da Cotinga ($25^{\circ}31'S/48^{\circ}23'W$), do Mel ($25^{\circ}29'S/48^{\circ}20'W$) e das Cobras ($25^{\circ}28'S/48^{\circ}25'W$) (GUEBERT-BARTHOLO *et al.*, 2011; Figura 10).

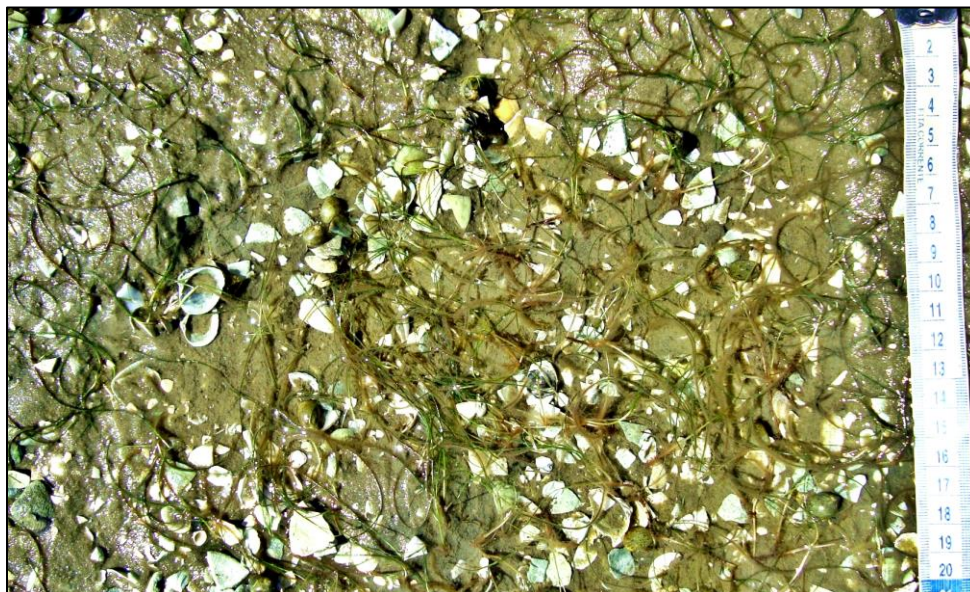


Figura 9 - Pradaria de *Halodule wrightii* encontrada no Baixo do Perigo.

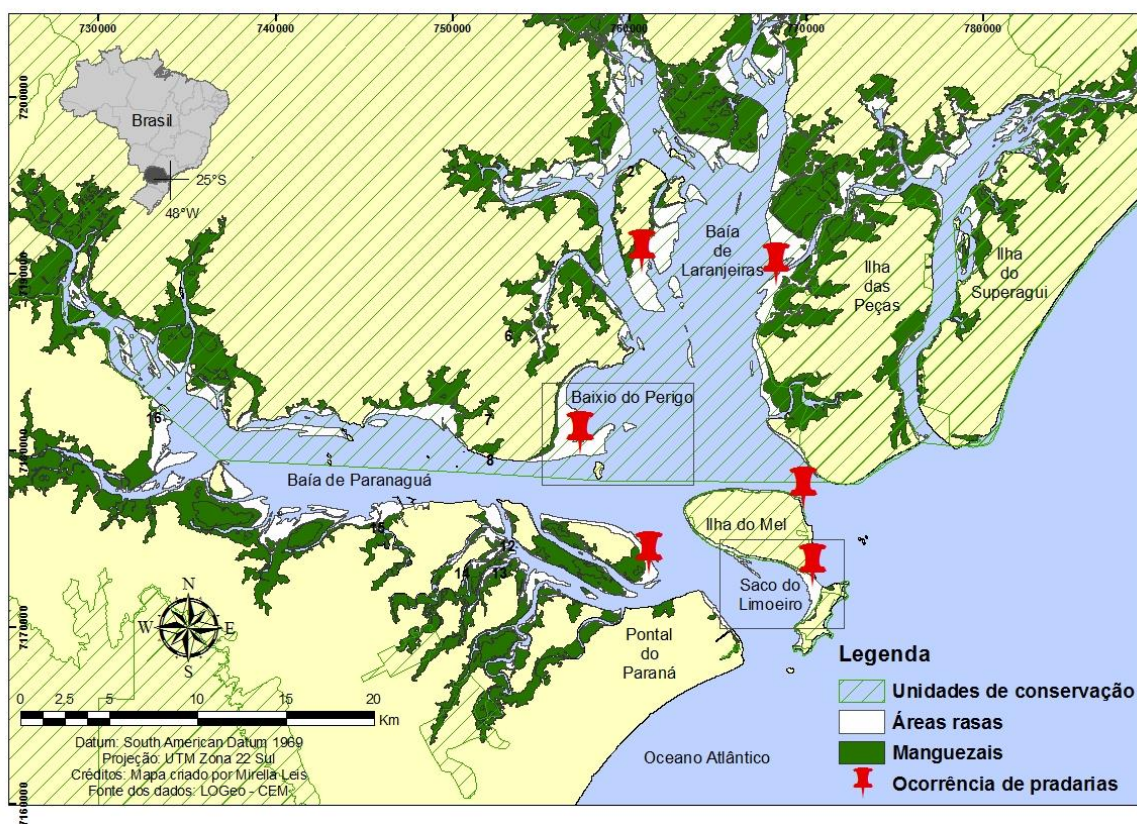


Figura 10 - Mapa de localização das pradarias de *Halodule wrightii* no Complexo Estuarino de Paranaguá segundo diversos autores (GUEBERT-BARTHOLO *et al.*, 2011; LANA *et al.*, 2001; SORDO *et al.*, 2011).

As pradarias do CEP foram estudadas quanto à sua localização (LANA *et al.*, 2001), ocorrência (GUEBERT, 2008; GUEBERT-BARTHOLO *et al.*, 2011); sua associação com a ocorrência de resíduos sólidos, como potencial impacto para as tartarugas-marinhas (MOURA, 2011; MOURA *et al.*, 2011); quanto à sua estrutura e funcionamento frente ao florescimento de algas epífitas (SORDO, 2008) e variações temporais em sua morfologia e biomassa (SORDO *et al.*, 2011).

Segundo Guebert-Bartholo *et al.* (2011) e Sordo *et al.* (2011) o período de maior desenvolvimento das pradarias ocorre no final da primavera e início do verão. Durante este período as fanerógamas marinhas constituem o item alimentar mais consumido pela tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) (GUEBERT, 2008; GUEBERT-BARTHOLO *et al.*, 2011).

A distribuição latitudinal de fanerógamas marinhas segue uma tendência de redução de biomassa associada ao gradiente térmico. Nesse sentido, variações em sua biomassa e variações morfológicas são maiores próximo ao limite Sul de distribuição, que corresponde ao Estado do Paraná para *Halodule wrightii* (CREED, 1997; SORDO *et al.*, 2011).

Os estressores ambientais no CEP correspondem a baixas temperaturas, alta precipitação e turbidez, associada a ventos do quadrante S/SE (SORDO *et al.*, 2011). A variabilidade espacial pode ser induzida pelo florescimento de algas epífitas (SORDO, 2008), bem como pela ação de ondas e incidência de sistemas frontais, mais frequentes no inverno, que podem ocasionar deposição sedimentar e soterramento das fanerógamas marinhas (SORDO *et al.* 2011). Pela sua localização próxima ao limite Sul de distribuição, encontram-se mais vulneráveis a condições ambientais adversas, constituindo populações esparsas e que geralmente não se reproduzem sexuadamente (SORDO *et al.*, 2011). Por esta razão, a biomassa encontrada para estas pradarias variou de 5,46 - 35,6 g PS m⁻², a menor reportada para as Américas (SORDO *et al.* 2011).

Sordo *et al.* (2011) relacionaram as variações nos parâmetros morfométricos de *Halodule wrightii* às características dos sedimentos. Diâmetro médio e grau de seleção foram considerados pelos autores como inversamente relacionados aos parâmetros morfométricos vegetais. A densidade, inversamente relacionada ao grau de seleção e diretamente relacionada ao percentual de grânulos, correspondendo a

alto teor de carbonatos. Já a biomassa foi diretamente relacionada ao percentual de grânulos e inversamente relacionada ao diâmetro médio e grau de seleção.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. PLANEJAMENTO AMOSTRAL E COLETA DE DADOS

As áreas a serem amostradas foram selecionadas segundo as informações apresentadas na literatura quanto aos locais de ocorrência de fanerógamas marinhas no CEP (LANA *et al.*, 2001; SORDO, 2008; GUEBERT-BARTHOLO *et al.*, 2011; SORDO *et al.*, 2011).

Dessa forma, as campanhas amostrais foram realizadas no Saco do Limoeiro (SL) e Baixo do Perigo (BP) (Figura 11), que correspondem a áreas rasas dinamicamente distintas. Os trabalhos de campo foram executados durante os estofos de baixamar em ciclos de maré de sizígia, períodos nos quais as áreas ficam emersas. A coleta de dados compreendeu os meses de primavera (setembro), verão (dezembro e fevereiro) e outono (maio). Esses meses correspondem ao padrão sazonal verificado para as fanerógamas marinhas, com maior biomassa durante os meses mais quentes, de primavera e verão (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 1997; CREED, 1999; GUEBERT-BARTHOLO *et al.*, 2011; SORDO *et al.*, 2011).

Foram utilizadas duas malhas amostrais distintas e sobrepostas em ambas as áreas rasas (Figura 11). A primeira, regular, foi utilizada para a caracterização sedimentar das áreas rasas. Apresentou dimensões 300 x 400 m, e foi composta por 63 (SL) e 64 (BP) pontos distanciados em 50 m. A segunda malha amostral, aleatória, foi utilizada para obtenção dos dados relativos às fanerógamas marinhas e sedimentos de forma concomitante. Foi composta por 1899 (SL) e 1891 (BP) pontos equidistantes em 10 m, dos quais 30 foram efetivamente amostrados por campanha amostral, escolhidos por aleatorização a cada campanha amostral com auxílio da extensão *Hawth's Tools* em ArcGIS 9.3.

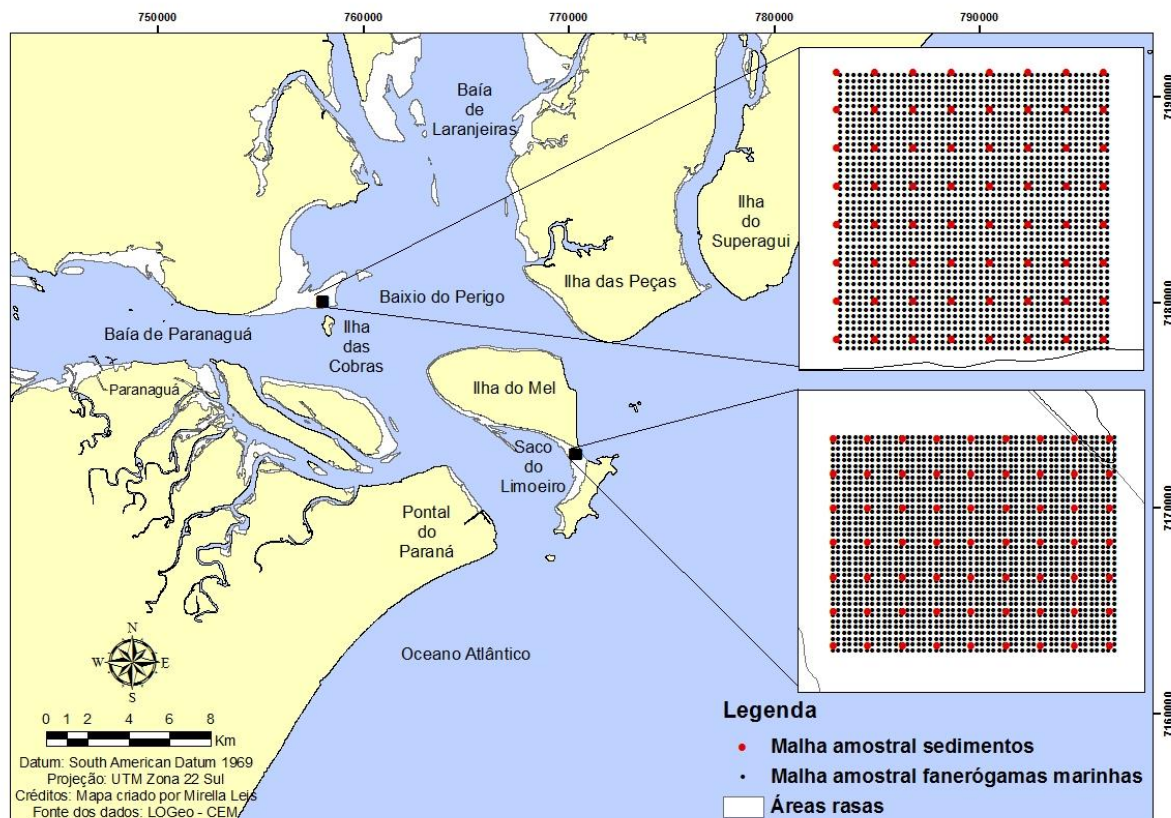


Figura 11 - Mapa do Complexo Estuarino de Paranaguá, com destaque para o Baixo do Perigo e Saco do Limoeiro, com detalhamentos de suas respectivas malhas amostrais. Malha amostral de referência utilizada para coleta de dados acerca das fanerógamas marinhas e malha amostral para coleta de sedimentos.

Os pontos amostrais selecionados foram identificados em campo com auxílio do GPS (Garmin eTrex). Estes consistiram o centro de quadrantes de 100 m² que foram estabelecidos usando-se quatro linhas perpendiculares de 5 m de comprimento fixadas a um tubo de PVC para formar subquadrantes de 25 m² cada (Figura 12). As dimensões dos agregados de fanerógamas marinhas (largura e comprimento máximos), bem como a altura de cinco filamentos vegetais/subquadrante escolhidos de forma aleatória foram mensuradas, com uso de fita métrica. Assim, foram obtidas a altura média, a área de cobertura e o percentual de cobertura, que corresponde à relação entre área total ocupada por fanerógamas marinhas a cada campanha amostral e a área correspondente ao total de pontos amostrados (100 m² cada).

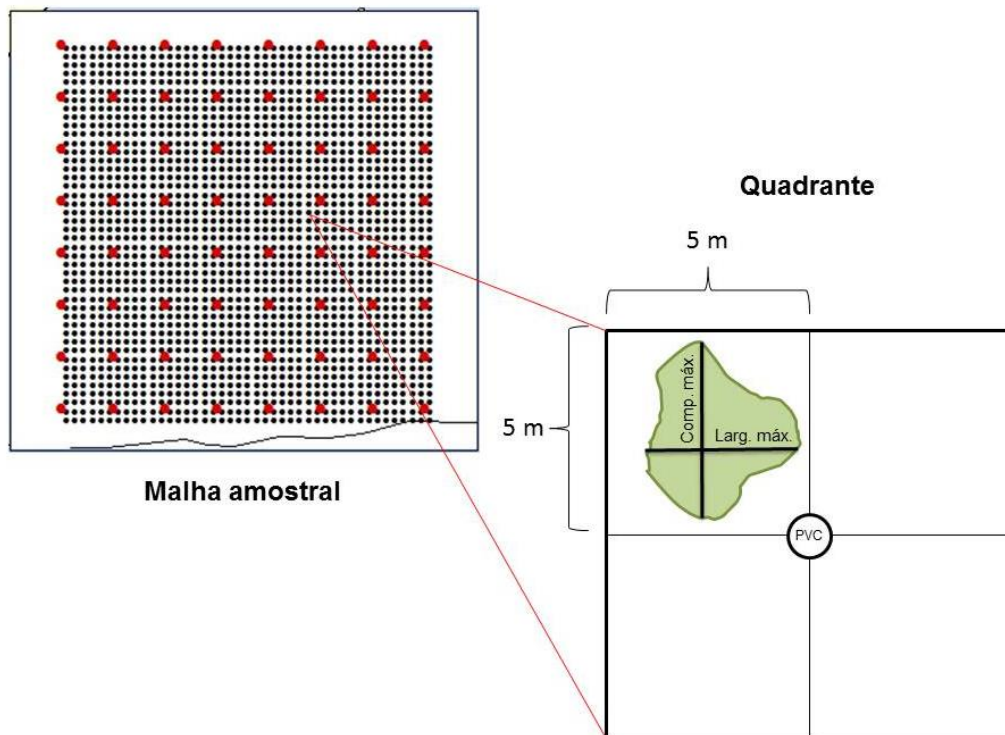


Figura 12 - Quadrante de 100 m² usado para a amostragem de *H. wrightii*, formado por um tubo de PVC com 4 linhas perpendiculares de 5 m de comprimento. Os sedimentos foram coletados no ponto centroide, que corresponde ao tubo de PVC. A área de cobertura foi calculada por Comprimento máximo e Largura máxima do agregado de *H. wrightii*.

As amostras de sedimentos foram obtidas do centro de cada quadrante, com o auxílio de um amostrador de PVC de 15 cm de comprimento por 5 cm de diâmetro. Estas foram armazenadas em sacos plásticos identificados, e mantidas congeladas em laboratório até o momento do processamento. Os procedimentos laboratoriais e análise espacial serão descritos detalhadamente a seguir (Figura 13).

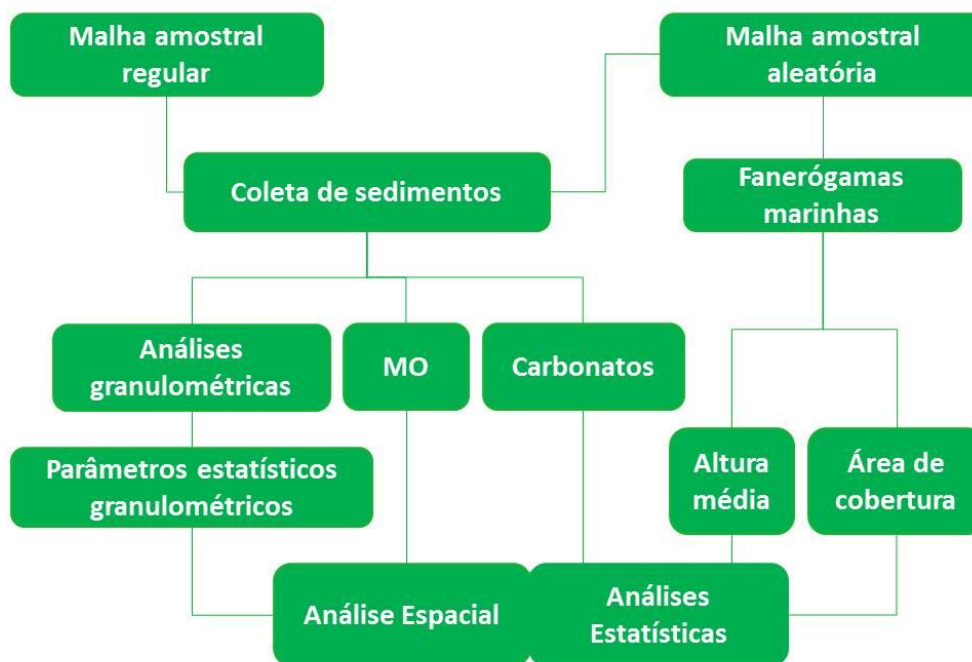


Figura 13 - Fluxograma do planejamento amostral para coleta de dados sedimentológicos e biológicos.

5.2. PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

As amostras de sedimentos *in natura* foram submetidas ao procedimento de eliminação de matéria orgânica por ataque químico com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) a 30 volumes, a fim de garantir que não houvesse agregação das partículas finas durante o processo de análise granulométrica. Posteriormente, uma alíquota de 50 g de sedimentos pesada em balança com acurácia de 10^{-4} g, foi submetida a peneiramento a úmido, para separação das frações fina ($<0,063$ mm) e grossa ($>0,063$ mm) (Figura 14).

As frações $> 0,063$ mm foram submetidas ao peneiramento a seco a intervalos de $0,5 \Phi$ de acordo com os conceitos descritos por Suguio (1973) e frações $< 0,063$ mm, à pipetagem, seguindo os princípios da Lei de Stokes de decantação das partículas (SUGUIO, 1973), e o método desenvolvido por Carver (1971), a intervalos de $1,0 \Phi$ na escala de Wentworth (1922).

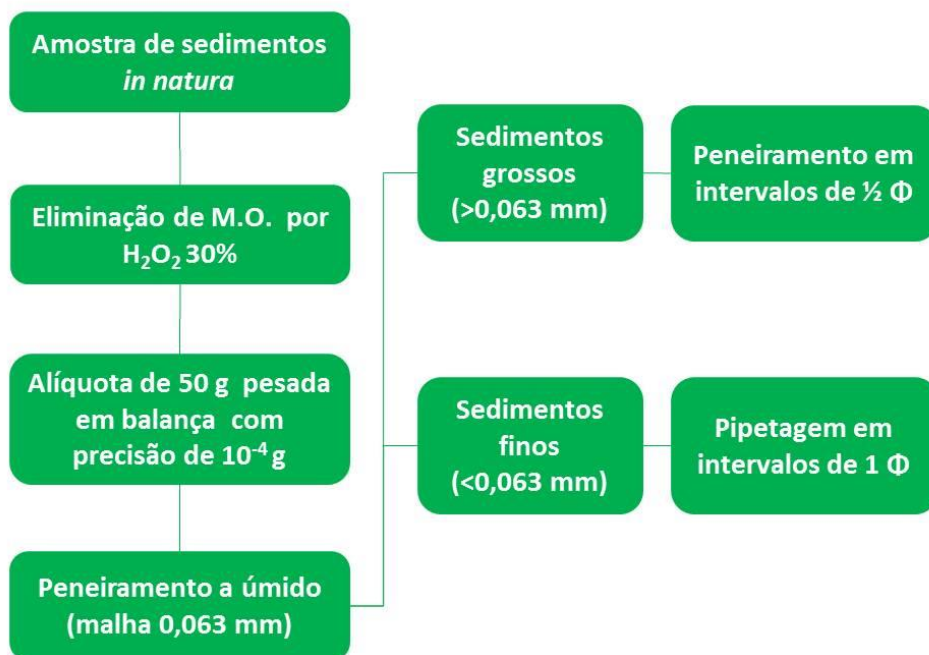


Figura 14 - Fluxograma de análises granulométricas segundo o método de Suguio (1973) e Carver (1971) modificado de Carneiro (2010).

Os teores de carbonatos e matéria orgânica contidos nas parcelas sedimentares foram obtidos por ataque químico de ácido clorídrico (HCl) a 10% e de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 30 volumes, respectivamente, sendo calculados posteriormente por diferença de massa após o ataque químico (Figura 15).

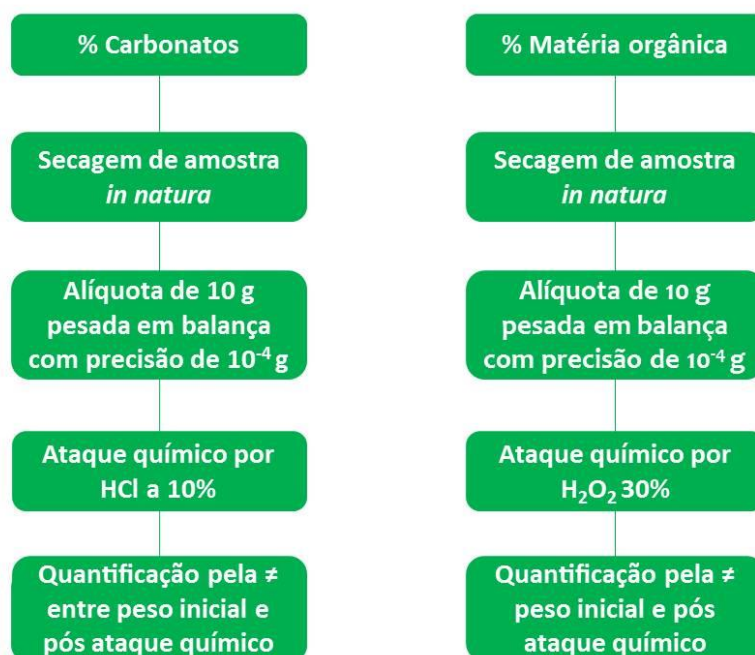


Figura 15 - Fluxograma do procedimento de análise do teor de carbonatos e de matéria orgânica contidos nos sedimentos modificado de Carneiro (2010).

5.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os parâmetros estatísticos granulométricos (diâmetro médio, grau de seleção, assimetria e curtose) foram calculados com o auxílio do *software Sysgran 3.0* (CAMARGO, 2006) pelo método descrito por Folk & Ward (1957). As demais análises estatísticas foram realizadas no *software* livre *RStudio 2.12* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

A fim de identificar variações significativas na composição dos sedimentos e características das fanerógamas marinhas (área e altura), entre as áreas rasas (SL e BP) e entre os meses amostrados (setembro de 2010, fevereiro e maio de 2011), foi realizada uma análise de variância ANOVA bifatorial e teste Tukey à *posteriori*.

Para detecção das relações entre as características dos sedimentos e das fanerógamas marinhas foi utilizada regressão linear múltipla, considerando as variáveis biológicas (área e altura) como dependentes e os parâmetros sedimentológicos (diâmetro médio, teor de finos, de carbonatos e de matéria orgânica) como independentes ou explicadores.

Uma análise multivariada de agrupamento (*Cluster Analysis*) foi realizada no pacote *Vegan* (OKSANEN *et al.*, 2012) com a finalidade de identificar amostras de características sedimentares semelhantes e definir padrões sedimentológicos, caracterizando subambientes de sedimentação (VIEIRA *et al.*, 2008; CARNEIRO, 2010; CATTANI, 2012) para então relacioná-los à presença ou ausência de fanerógamas marinhas (DE FALCO *et al.*, 2000). Para avaliar a consistência do padrão de agrupamento obtido pela análise *Cluster* foi calculado o coeficiente de correlação cofenético, que varia de 0 a 1.

5.4. ANÁLISE ESPACIAL

A definição das áreas adequadas à ocorrência de fanerógamas marinhas foi desenvolvida em ambiente de geoprocessamento, utilizando o *software* ArcGIS 9.3 e sua extensão *Spatial Analyst*. Para esta análise foram contempladas as características dos sedimentos, bem como a distribuição espacial e variações na área de cobertura e altura das fanerógamas marinhas.

Os mapas gerados consistiram no resultado da integração de dados pontiformes de ocorrência de uma espécie, com dados poligonais disponíveis quanto às feições do hábitat (distribuição granulométrica, do teor de carbonatos e matéria orgânica, batimetria, etc.). Então, camadas de dados com alto conteúdo explicativo quanto à expansão potencial da espécie estudada foram consideradas. Assim, são denominados mapas de adequação de hábitat (*habitat suitability maps*), que fornecem informações quanto à expansão potencial de uma espécie a partir da correlação entre suas exigências ecológicas e os parâmetros do hábitat (DAVIS *et al.*, 1990). De acordo com Lang & Blaschke (2009), este tipo de mapa traz a informação quanto aos hábitats ou unidades espaciais que são “preferidos”, “indiferentes” ou “evitados” para a espécie estudada, na forma de um índice de adequação de hábitat (*Habitat Suitability Index*).

A metodologia utilizada, a ser detalhada a seguir (Figura 16), foi baseada na teoria de Lang & Blaschke (2009) e consistiu na integração do método descrito por Cattani (2012) e Lamour *et al.* (*in prep.*), como também da abordagem que foi parte

do estudo realizado para os Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura do Estado do Paraná (IGIA, 2010).

O primeiro passo da análise consistiu na geração de uma superfície em formato matricial (formato *raster*) para cada um dos parâmetros sedimentológicos, utilizando a técnica de interpolação Inverso Quadrado da Distância (*Inverse Distance Weighted* - IDW). Essa técnica de interpolação foi escolhida por ser ideal para pontos amostrais uniformemente distribuídos, que é o caso da malha amostral regular utilizada nesse estudo. A técnica de interpolação baseia-se no pressuposto de que pontos amostrais próximos um ao outro são mais semelhantes do que aqueles que estão mais distantes. Assim, IDW assume que cada ponto amostral tem uma influência local que diminui com a distância (CHILDS, 2004).

Após este procedimento, foram incorporados aos mapas os dados pontiformes relativos à distribuição espaço-temporal das fanerógamas marinhas, com sua respectiva área de cobertura e altura. Esta informação foi transformada em símbolos graduados, ou seja, utilizando o tamanho do símbolo para representar dados quantitativos organizados em classes. Foram definidas cinco classes para representar a área de cobertura, sendo uma destas a ausência de fanerógamas marinhas, e, quando verificada a presença, classificada em intervalos de 25 m². Estes intervalos correspondem às dimensões dos subquadrantes utilizado na amostragem em campo, sendo igual ao valor do percentual do quadrante recoberto por *H. wrightii*. Assim, 25 m² correspondem a 25% de área do quadrante recoberta.

A partir destas superfícies numéricas contínuas (arquivos raster), para cada parâmetro sedimentológico foram geradas células de 10 m associadas à informação contida em um ponto centroide de coordenadas geográficas conhecidas. Dentre os parâmetros, foram selecionados aqueles que melhor descrevem a ocorrência e desenvolvimento das fanerógamas marinhas de acordo com a literatura, sendo definidos como o diâmetro médio, o teor de carbonatos, o teor de matéria orgânica e teor de finos (SHORT, 1999; KOCH *et al.*, 2001; DE FALCO *et al.*, 2003; PERRY & BEAVINGTON-PENNEY, 2005; BRADLEY & STOLT, 2006; DE BOER, 2007; DE FALCO *et al.*, 2008; SORDO *et al.*, 2011).

Dessa forma, utilizando valores de referência descritos por Koch (2011), os dados contínuos foram transformados para discretos ou categóricos utilizando até 3 classes, com a atribuição de pesos de 1 a 3. O peso 1 foi atribuído a áreas “Pouco

Adequadas”, o peso 2 a áreas “Moderadamente Adequadas” e peso 3 a áreas “Muito Adequadas” à ocorrência de *Halodule wrightii* (Tabela 1). Esse procedimento foi realizado com a ferramenta *Reclassify* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS 9.3.



Figura 16 - Fluxograma da metodologia de análise espacial utilizada com auxílio do software ArcGIS 9.3 (© ESRI).

Tabela 1 - Critérios utilizados para a classificação de áreas rasas quanto à adequação para ocorrência de *Halodule wrightii*. “Adequado” corresponde a limites indicados pela literatura para a definição de áreas propícias ao desenvolvimento de fanerógamas marinhas.

Parâmetro	Classe	Reclassificação	Classe	Reclassificação	Adequado	Referência
Teor de Finos (%)	< 2,5	1	< 2,5	2	< 20	Koch (2001)
	2,5 – 5	2	2,5 – 5	3		
	> 5	3	-	-		
Teor de Carbonatos (%)	< 5	2	< 5	1	-	-
	5 – 25	3	5 – 25	3		
	> 25	1	> 25	2		
Teor de Matéria Orgânica (%)	< 2,5	3	< 2,5	3	< 5	Koch (2001)
	2,5 - 5	2	2,5 - 5	1		
	> 5	1	-	-		
Diâmetro Médio	Silte Grosso	1	Areia Fina	2	Areia Fina a Média	Seeliger & Koch (KOCH, 2001)
	Areia Muito Fina	2	Areia Média a Grossa	3		
	Areia Fina a Média	3	-	-		

Os dados em formato matricial reclassificados foram integrados em uma única tabela de atributos utilizando a ferramenta *Intersect*, disponível na extensão *Spatial Analyst* em ArcGIS 9.3. (LAMOUR *et al.*, *em prep.*). Foram testadas manualmente todas as combinações possíveis das classes formadas pelos quatro parâmetros sedimentológicos, utilizando-se o peso atribuído a cada uma das variáveis após a reclassificação. O parâmetro determinante para a classificação foi o teor de finos, seguido pelo teor de carbonatos, teor de matéria orgânica e diâmetro médio, em ordem decrescente de importância, de acordo com informações presentes na literatura (SHORT, 1999; KOCH *et al.*, 2001; DE FALCO *et al.*, 2003; PERRY & BEAVINGTON-PENNEY, 2005; BRADLEY & STOLT, 2006; DE BOER, 2007; DE FALCO *et al.*, 2008; SORDO *et al.*, 2011).

As operações manuais resultaram um máximo de 81 combinações, sendo 1 (FIN) 1 (CO3) 1 (MO) 1 (DM), 1112, 1113, (...) atribuídas à classe 1; as combinações 2222, 2221, 2223, (...) atribuídas à classe 2; e as combinações 3333, 3331, 3332, (...) atribuídas à classe 3. A seguir, cada uma das combinações possíveis dos quatro parâmetros foi testada utilizando-se a ferramenta *Select by Attributes* à partir da tabela de atributos integrada. As células raster correspondentes a cada combinação encontrada foram selecionadas para posterior formação de uma composição das três classes (Figura 17).

Para cada área rasa o procedimento foi feito separadamente, pelas classes sedimentológicas distintas encontradas e associadas às pradarias de *Halodule wrightii*.

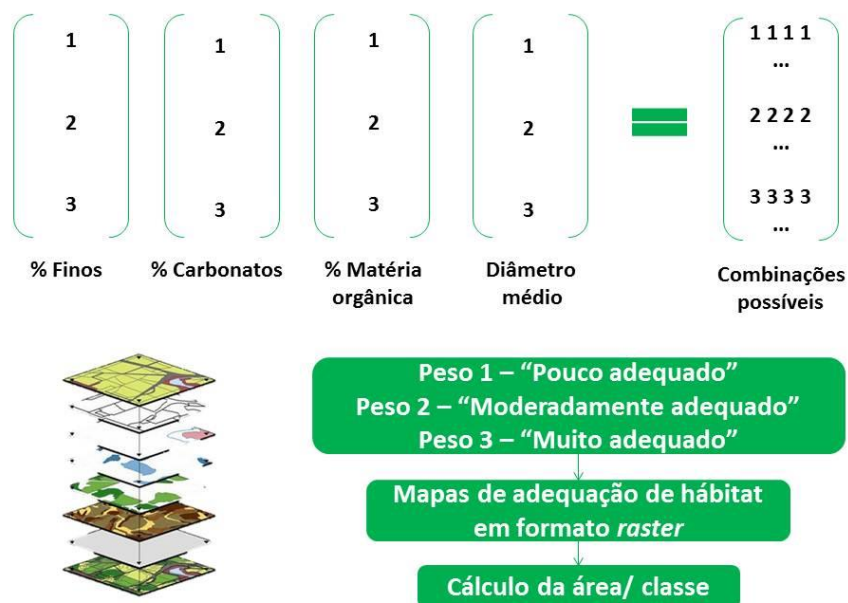


Figura 17 - Desenho esquemático da metodologia de análise espacial utilizada para a integração dos parâmetros sedimentológicos e definição dos índices de adequação de hábitat para fanerógamas marinhas, em ambiente de geoprocessamento.

6. RESULTADOS

6.1. CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR

No total foram amostrados 119 pontos no Saco do Limoeiro, sendo 61 correspondentes à malha regular e 58 distribuídos aleatoriamente. O total de pontos amostrados no Baixio do Perigo foi de 105, 63 em malha regular e 42 em malha aleatória. As amostras de sedimentos foram, de maneira geral, bimodais, caracterizando sedimentos siliciclásticos compreendidos na classe areia fina, com altos teores de carbonatos, por vezes elevando o diâmetro médio à classe areia média pela presença desse material bioclástico, presente em fragmentos ou na forma de conchas inteiras de organismos bivalves.

Os sedimentos no Saco do Limoeiro foram classificados como areias finas (0,125 – 0,250 mm) (81,97%) a médias (0,250 – 0,500 mm) (18,03%), variando entre pobremente e muito bem selecionadas, sendo principalmente bem selecionados (44,26%), de muito negativa a aproximadamente simétrica, sendo 47,54% da distribuição classificada como muito negativa. A curtose variou de mesocúrtica a

extremamente leptocúrtica, estando principalmente entre muito leptocúrtica (36,06%) e leptocúrtica (36,06%). Os teores de areia variaram entre 74,59 e 100%, os cascalhos entre 0 e 25,39% e os finos entre 0,72 e 4,74%. O percentual de matéria orgânica contida nos sedimentos variou entre 0 e 3,65%, e o de carbonatos entre 0,23 e 20,63%.

O Baixo do Perigo apresentou diâmetro médio variando entre os siltes grossos a areias médias (0,031 – 0,500 mm), com 63,49 % da distribuição na classe areia fina, seguida por areia média (25,40%). O grau de seleção observado variou entre muito pobremente e bem selecionado, sendo que em 41,27% ocorreram sedimentos pobremente selecionados. A assimetria variou de muito negativa a muito positiva, e a classe negativa compreendeu 34,92% da distribuição. A curtose variou de muito platicúrtica a extremamente leptocúrtica, estando principalmente entre extremamente leptocúrtica (36,51%) e muito leptocúrtica (28,57%). Os teores de areias variaram entre 57,73 e 99,99%, os cascalhos entre 0 e 29,04% e os finos entre 1,53 e 25,33% da distribuição granulométrica. O percentual de matéria orgânica contida nos sedimentos variou entre 0,38 e 8,32% e o de carbonatos entre 0,03 e 23,30%.

Assim, as áreas rasas analisadas apresentaram constituição sedimentológica distinta em função da dinâmica a que estão submetidas; estuarina, para o Baixo do Perigo e de desembocadura para o Saco do Limoeiro. Foi observada redução no grau de seleção e aumento no teor de finos e de matéria orgânica em direção ao interior do estuário.

6.2. DISTRIBUIÇÃO E VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DAS FANERÓGAMAS MARINHAS

O recobrimento das áreas rasas devido à variação das marés, com consequente aumento na profundidade da coluna de água, dificultou a observação quanto à ocorrência ou não de pradarias em determinados pontos de amostragem. Esses pontos amostrais foram, portanto, descartados. Sendo assim, no total foram amostrados 76 pontos no Saco do Limoeiro, sendo 18 na campanha amostral de setembro de 2010, 38 em fevereiro de 2011 e 20 em maio de 2011. No Baixo do

Perigo foi amostrado um total de 99 pontos, dos quais 39 foram referentes à campanha amostral de dezembro de 2009, 18 correspondentes à de setembro de 2010 e 24 e 18 o número de pontos amostrados em fevereiro e maio de 2011, respectivamente. Dessa forma, o esforço de amostragem se mostrou diferente para as duas áreas rasas, tendo sido maior no Baixo do Perigo.

As pradarias de fanerógamas marinhas localizadas no Saco do Limoeiro apresentaram um percentual de cobertura de 13,51% em setembro de 2010, com altura média correspondente a $5,36 \pm 2,75$ cm. Em fevereiro de 2011, o percentual de cobertura passou a 18,97% e a altura média a $5,51 \pm 2,30$ cm, e para 23,90% no percentual de cobertura e $4,84 \pm 2,43$ cm na altura média em maio de 2011 (Figura 18). Em suma, o pico de desenvolvimento das pradarias do Saco do Limoeiro correspondeu ao mês de maio (outono), mantendo-se praticamente constante durante todo o período amostrado.

Já na pradaria presente no Baixo do Perigo, o percentual de cobertura e altura média foram, respectivamente, de 1,58% e $8,70 \pm 3,26$ cm em dezembro de 2009; 58,44% e $6,44 \pm 4,09$ cm em setembro de 2010; 1,04% e $2,80 \pm 1,50$ cm em fevereiro de 2011 e 0% em maio de 2011 (Figura 18). Em campo, foi constatado que as fanerógamas marinhas encontravam-se soterradas durante o mês de fevereiro, que corresponde ao período chuvoso. O máximo de desenvolvimento para as pradarias do Baixo do Perigo foi correspondente ao mês de setembro (primavera).

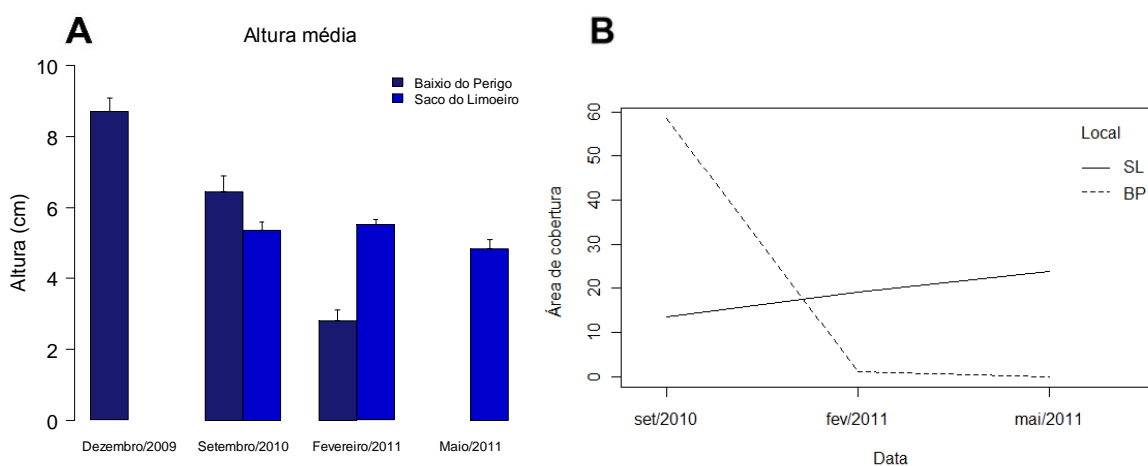


Figura 18 - Variação da altura média (A) e do percentual de cobertura de *H. wrightii* (B) ao longo do tempo para o Baixo do Perigo e o Saco do Limoeiro (SL - Saco do Limoeiro; BP - Baixo do Perigo).

6.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise de variância ANOVA bifatorial mostrou que houve variação temporal altamente significativa ($p < 0,01$) na área de cobertura e na altura das fanerógamas marinhas para as duas áreas rasas. O teste estatístico à *posteriori* indicou que a variação significativa ocorreu entre os meses de setembro de 2009 e fevereiro de 2011 e entre setembro de 2009 e maio de 2011. Já a variação espacial (entre áreas rasas) dos dois parâmetros não foi significativa.

Os dados referentes ao Baixo do Perigo apresentaram distribuição heterogênea, com a maioria (95,24%) dos pontos efetivamente amostrados representando ausência de *H. wrightii*. Por este motivo, para a regressão linear múltipla e a análise de agrupamento (*Cluster analysis*) foram utilizados somente os pontos amostrais correspondentes ao Saco do Limoeiro, com distribuição homogênea. As inferências estatísticas feitas em relação ao Saco do Limoeiro foram, portanto, tomadas como referência.

A regressão linear múltipla mostrou haver relação altamente significativa ($p = 0,01$) entre a altura de *H. wrightii* e o teor de finos. Esse resultado foi verificado quando todas as variáveis sedimentológicas foram utilizadas como independentes ou explicadoras. Quando considerado de forma isolada, o teor de finos mostrou relação significativa com a altura de *H. wrightii* ($p = 0,03$). Quanto à área de cobertura, esta apresentou relação marginalmente significativa ($p = 0,07$) com o grau de seleção.

A análise de agrupamento (*Cluster Analysis*) permitiu a identificação de dois padrões sedimentológicos, caracterizando subambientes de sedimentação no Saco do Limoeiro (Figura 19). O coeficiente de correlação cofenético de 0,79 demonstrou que o dendrograma é confiável, com boa correlação ($> 0,6$).

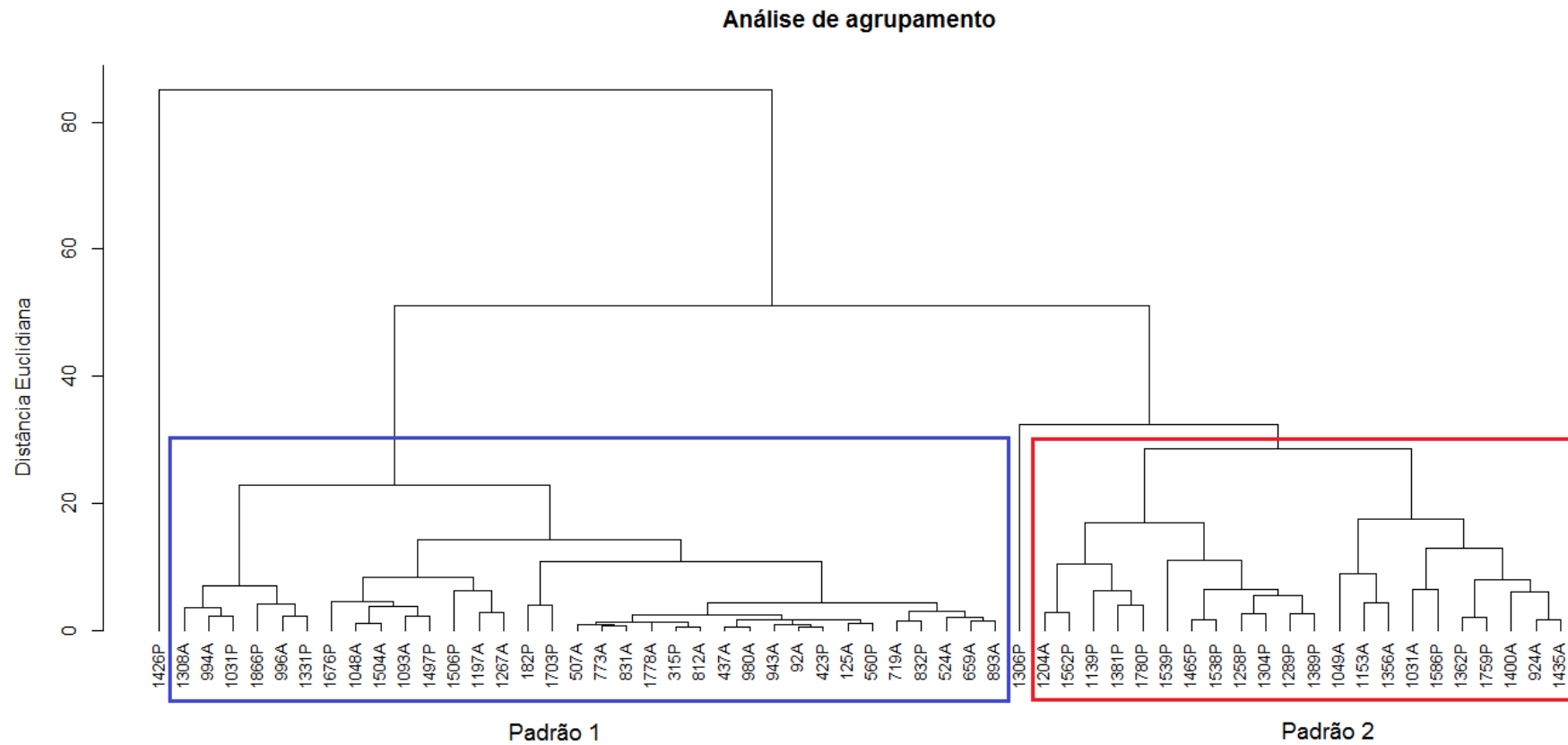


Figura 19 - Análise de agrupamento (Cluster Analysis) referente ao Saco do Limoeiro, com identificação dos padrões 1 e 2 encontrados. Encontra-se representada a identificação do ponto amostral seguida de "P" para presença e "A" para ausência de *H. wrightii*.

O padrão 1 correspondeu a 60,34% do total de pontos amostrados, sendo constituído, de maneira geral, por areias finas (100%), bem selecionadas (54,28%), com assimetria de muito negativa (37,14%) a aproximadamente simétrica (37,14%), curtose leptocúrtica (54,28%), com teor médio de carbonatos de 5,60%, de matéria orgânica de 1,19% e de finos de 2,03%. Este padrão pôde ser caracterizado pela ausência de fanerógamas marinhas em 65,71% deste grupo. Quando constatada presença de *H. wrightii*, a área de cobertura foi próxima a zero ou, quando maior do que 75 m², relacionada a menor grau de seleção (moderadamente selecionadas), associado a maior teor de carbonatos (>6,6%).

No padrão 2 predominaram areias médias (100%), de pobremente (76,19%) a moderadamente selecionadas, com assimetria muito negativa (100%), curtose de muito leptocúrtica (76,19%) a mesocúrtica, com teor médio de carbonatos de 13,22%, de matéria orgânica de 0,94% e de finos de 2,24%. Houve predominância da presença de fanerógamas marinhas (66,66%), com valores de área de cobertura e altura variáveis. Dentro do padrão 2 foram subagrupados pontos amostrais que apresentaram *H. wrightii* em sua quase totalidade, e corresponderam às características areia média, pobremente selecionada, com assimetria muito negativa e curtose muito leptocúrtica, associados a altos teores de carbonatos.

A classificação granulométrica do padrão 2 como areia média representa, na realidade, amostras de siliciclásticos da classe areia fina com altos teores de carbonatos, pela presença de fragmentos de conchas. Além de alterar o diâmetro médio, as partículas biogênicas contribuíram para a redução do grau de seleção e influencia os outros parâmetros estatísticos granulométricos. Dessa forma, o teor de carbonatos foi o fator determinante para a separação da área rasa em subambientes de sedimentação segundo os padrões identificados.

Os pontos amostrais 1306 e 1426 não foram agrupados a nenhum dos dois padrões encontrados, uma vez que apresentaram características sedimentológicas distintas em relação às demais amostras. Estes foram classificados, respectivamente, como areia média e grossa, pobremente selecionados, com assimetria muito negativa, curtose muito platicúrtica e alto teor de carbonatos (19,58 e 44,71%). O ponto amostral 1306 teve área de cobertura de 1,40 m² e 5,77 cm de

altura média. Já o ponto amostral 1426 apresentou área de cobertura máxima (100 m²) e altura média relativamente alta (5,5 cm).

Excepcionalmente, o ponto 1031 foi amostrado em duas ocasiões, fevereiro e em maio de 2011, sendo que em no verão foi constatada ausência de *H. wrightii* e no outono, presença de agregados com área de cobertura e altura correspondentes a 1,56 m² e 4,16 cm, respectivamente. Suas características granulométricas não foram alteradas, sendo areia fina, moderadamente selecionada, com assimetria muito negativa e curtose muito leptocúrtica. No entanto, foi verificado aumento no teor de matéria orgânica (516,6%) e de finos (44,6%), bem como redução no teor de carbonatos (39,1%).

6.4. ANÁLISE ESPACIAL

As pradarias de fanerógamas marinhas do Saco do Limoeiro apresentaram-se distribuídas, principalmente, em regiões com as seguintes características: diâmetro médio variando entre as classes granulométricas areia fina a grossa (Figura 20; A), de pobremente a moderadamente selecionadas, com assimetria de muito negativa a negativa e curtose de muito leptocúrtica a mesocúrtica (Figura 21; A, B e C, respectivamente). O teor de matéria orgânica variou de 0,18 – 2,79%; o teor de carbonatos, entre 1,01 – 44,71% e o de finos, de 1,12 – 3,77% (Figura 20; B, C e D, respectivamente).

Ao longo de todo o período amostrado a presença de fanerógamas marinhas no Saco do Limoeiro apresentou-se restrita à Leste da área amostrada, correspondente à região mais próxima à linha de costa, onde as profundidades encontradas são menores (POSSENTI, 2009). Quando verificada, a ocorrência de *H. wrightii* à Oeste estava associada a menores valores de área de cobertura (≈ 25 m²), mas maior altura média.

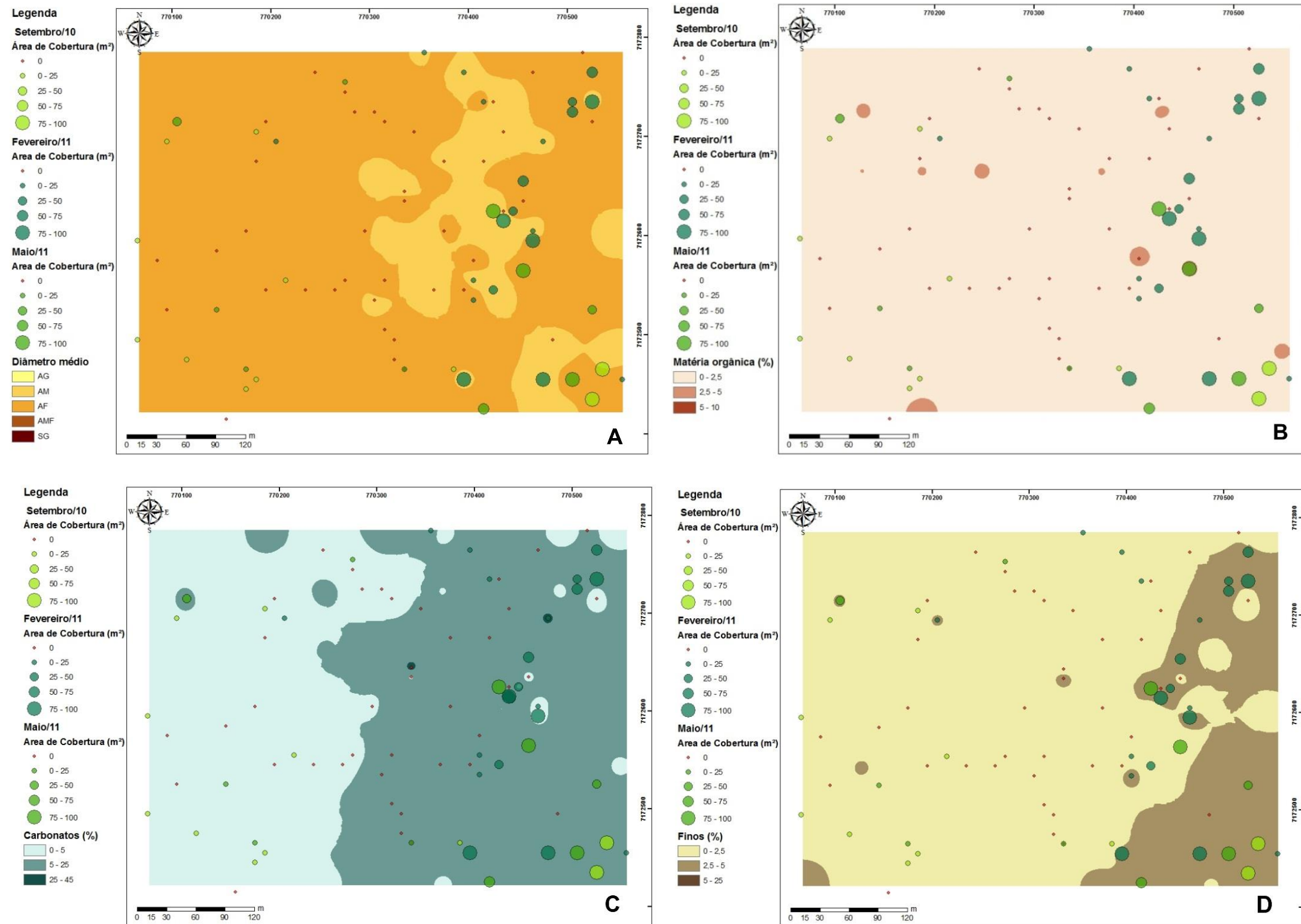


Figura 20 - Mapa de distribuição das pradarias de fanerógamas marinhas e sua respectiva área de cobertura, relacionada ao diâmetro médio (A), teor de matéria orgânica (B), teor de carbonatos (C) e teor de finos (D) dos sedimentos de fundo do Saco do Limoeiro.

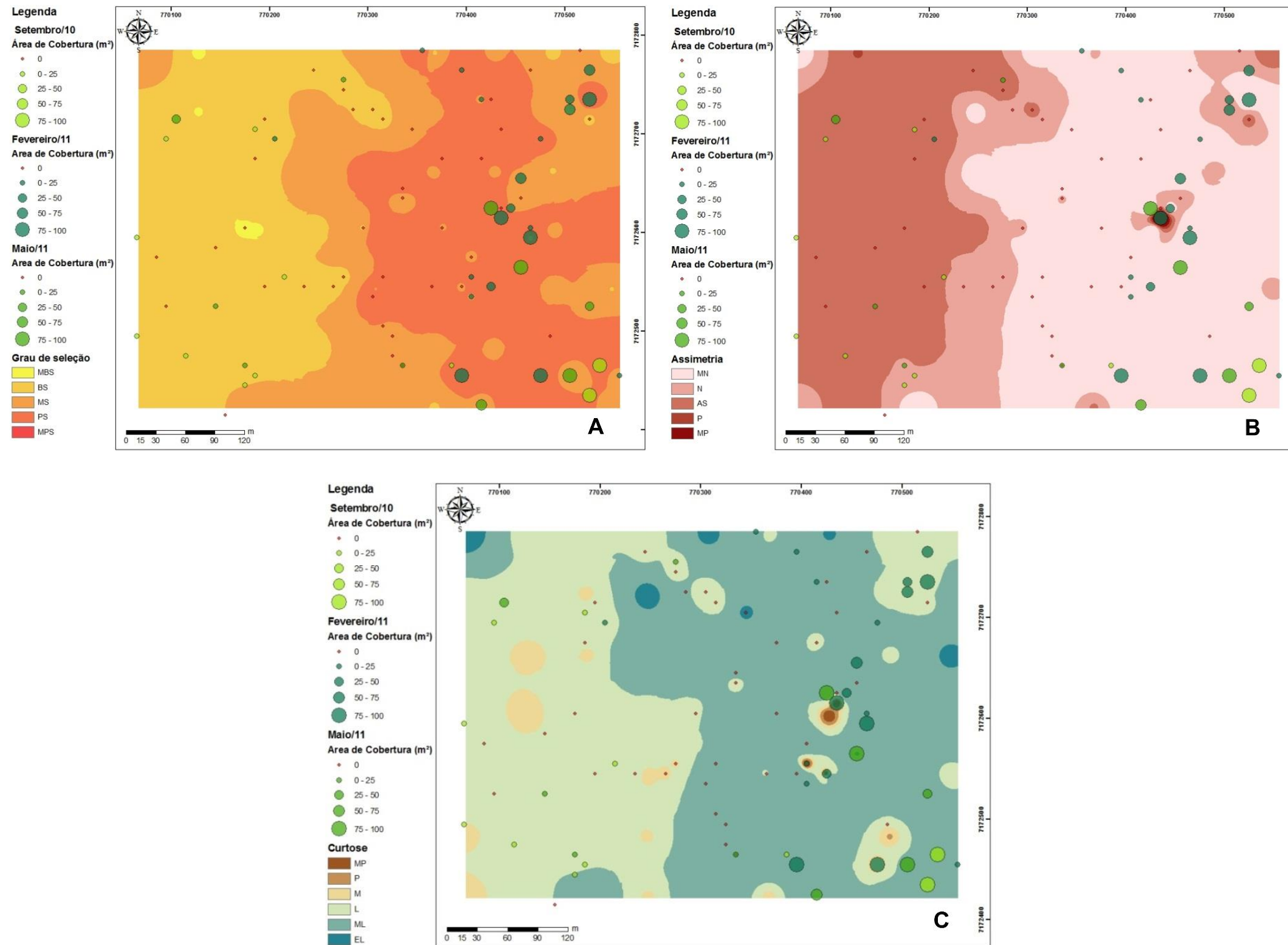


Figura 21 - Mapa de distribuição das pradarias de fanerógamas marinhas e sua respectiva área de cobertura, relacionada ao grau de seleção (A; MBS – Muito bem selecionado; BS – Bem selecionado; MS – Moderadamente selecionado; PS – Pobremente selecionado; MPS – Muito pobremente selecionado), à assimetria (B; Mn – Muito negativa; N – Negativa; Ass – Assimétrica; P – Positiva; Mp – Muito positiva); e à curtose (C; MP – Muito platicúrtica; P – Platicúrtica; M – Mesocúrtica; L – Leptocúrtica; ML – Muito leptocúrtica; EL – Extremamente leptocúrtica) dos sedimentos de fundo do Saco do Limoeiro.

No Baixo do Perigo, os pontos amostrais onde foi detectada a ocorrência de fanerógamas marinhas foram classificados como areia fina (Figura 22;A), moderadamente selecionada (Figura 23;A), com assimetria de muito negativa a aproximadamente simétrica (Figura 23;B) e curtose de leptocúrtica a muito leptocúrtica (Figura 23;C). Os teores de matéria orgânica variaram de 1,69 – 1,83%; os teores de carbonatos de 1,91 – 10,96% e os teores de finos, de 4,08 – 4,98% (Figura 22; B, C e D).

A região Norte da área amostrada no Baixo do Perigo apresentou maior ocorrência de *H. wrightii*, relacionada a maior área de cobertura (75 – 100%) em setembro de 2010. Esta região corresponde à que permanece emersa durante maior intervalo de tempo ao longo do ciclo de maré.

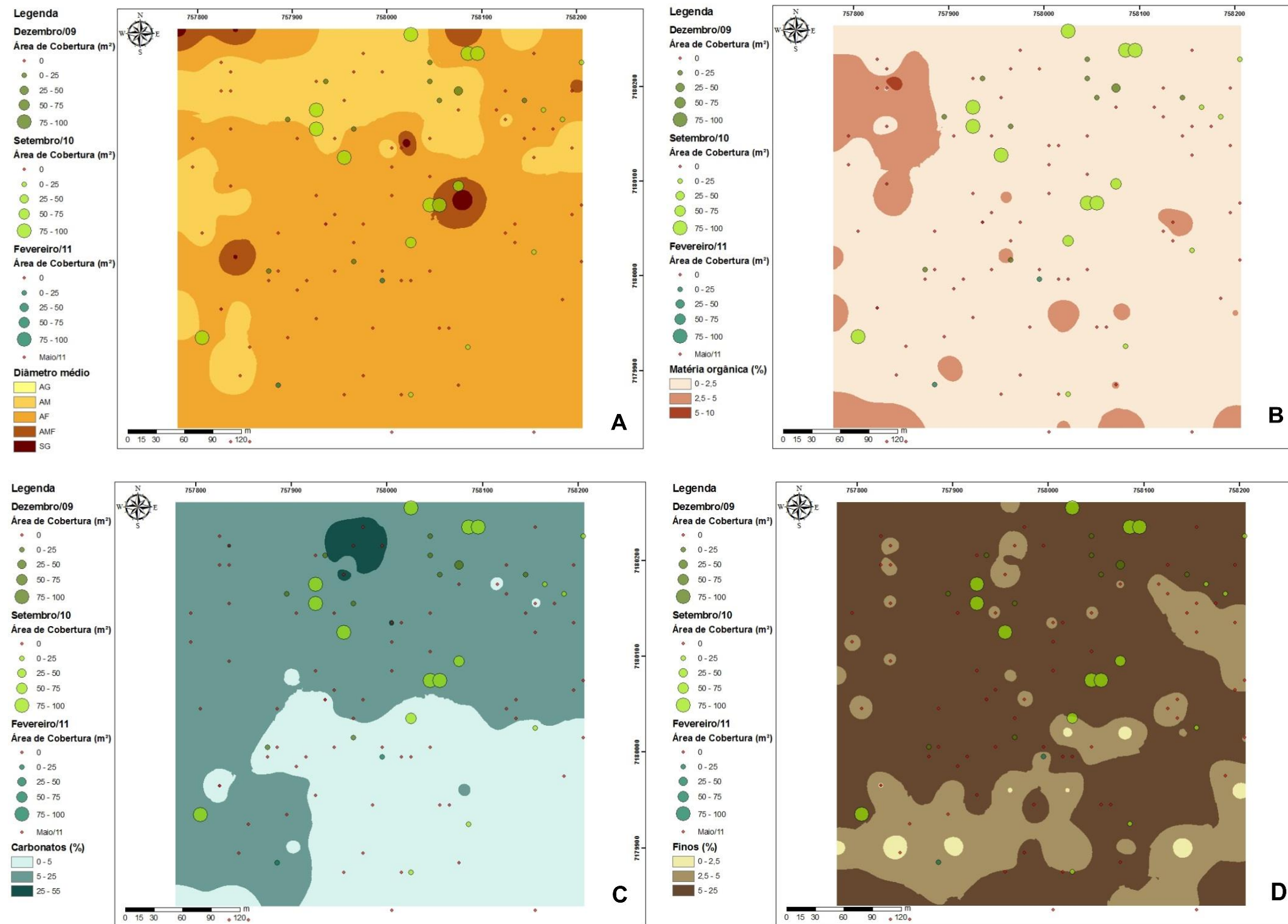


Figura 22 - Mapa de distribuição das pradarias de fanerógamas marinhas e sua respectiva área de cobertura, relacionada ao diâmetro médio (A), teor de matéria orgânica (B), teor de carbonatos (C) e teor de finos (D) dos sedimentos de fundo do Baixo do Perigo.

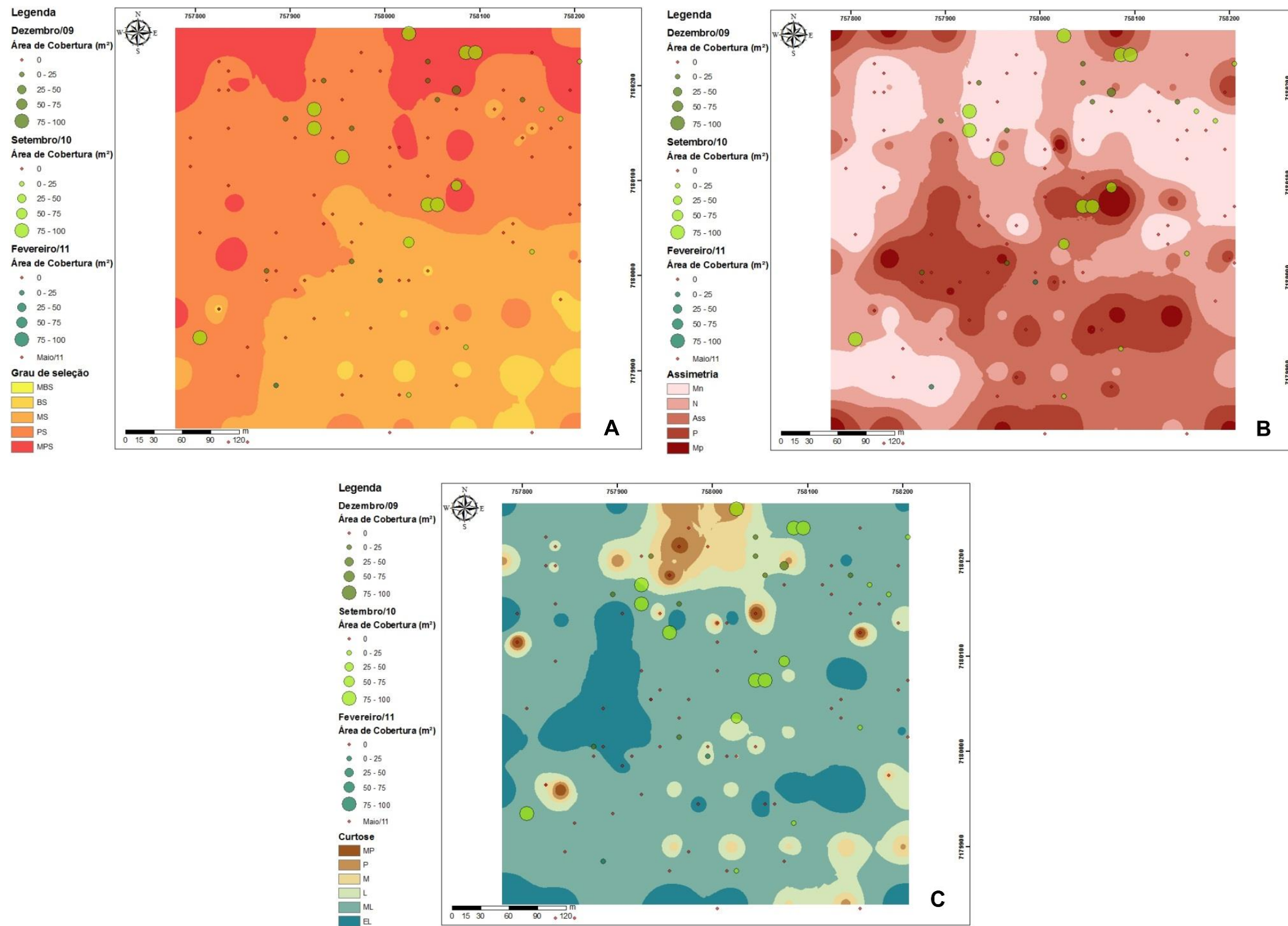


Figura 23 - Mapa de distribuição das pradarias de fanerógamas marinhas e sua respectiva área de cobertura, relacionada ao grau de seleção (A; MBS – Muito bem selecionado; BS – Bem selecionado; MS – Moderadamente selecionado; PS – Pobremente selecionado; MPS – Muito pobremente selecionado), à assimetria (B; Mn – Muito negativa; N – Negativa; Ass – Assimétrica; P – Positiva; Mp – Muito positiva); e à curtose (C; MP – Muito platicúrtica; P – Platicúrtica; M – Mesocúrtica; L – Leptocúrtica; ML – Muito leptocúrtica; EL – Extremamente leptocúrtica) dos sedimentos de fundo do Baixo do Perigo.

6.5. MAPAS DE ADEQUAÇÃO DE HÁBITAT

A partir da análise espacial dos dados, o Baixo do Perigo e o Saco do Limoeiro foram classificados quanto à adequabilidade, à ocorrência e desenvolvimento de *H. wrightii*, utilizando os parâmetros sedimentológicos. As áreas rasas foram então classificadas como “muito adequadas”, “moderadamente adequadas” e “pouco adequadas”.

No Baixo do Perigo, a área foi classificada como adequada e moderadamente adequada em sua maioria (99,16%), enquanto que no Saco do Limoeiro a maior parte foi classificada como pouco adequada (43,45%) e moderadamente adequada (34,76%) (Tabela 2).

Tabela 2 - Classes de adequabilidade para a presença de fanerógamas marinhas da espécie *Halodule wrightii* no Saco do Limoeiro e Baixo do Perigo com a área correspondente em m² e em percentual da área total amostrada.

Área Rasa	Áreas muito adequadas (Índice 3)		Áreas moderadamente adequadas (Índice 2)		Áreas pouco adequadas (Índice 1)		Total da área
	m ²	%	m ²	%	m ²	%	
Baixo do Perigo	93.562,41	49,45	94.057,21	49,71	1.580,38	0,84	189.200
Saco do Limoeiro	40.300,52	21,78	64.310,05	34,76	80.389,44	43,45	185.000

As áreas classificadas como adequadas à ocorrência de *H. wrightii* corresponderam, especialmente, a maiores valores de área de cobertura e altura das fanerógamas em comparação com o restante da área amostrada (Figura 24).

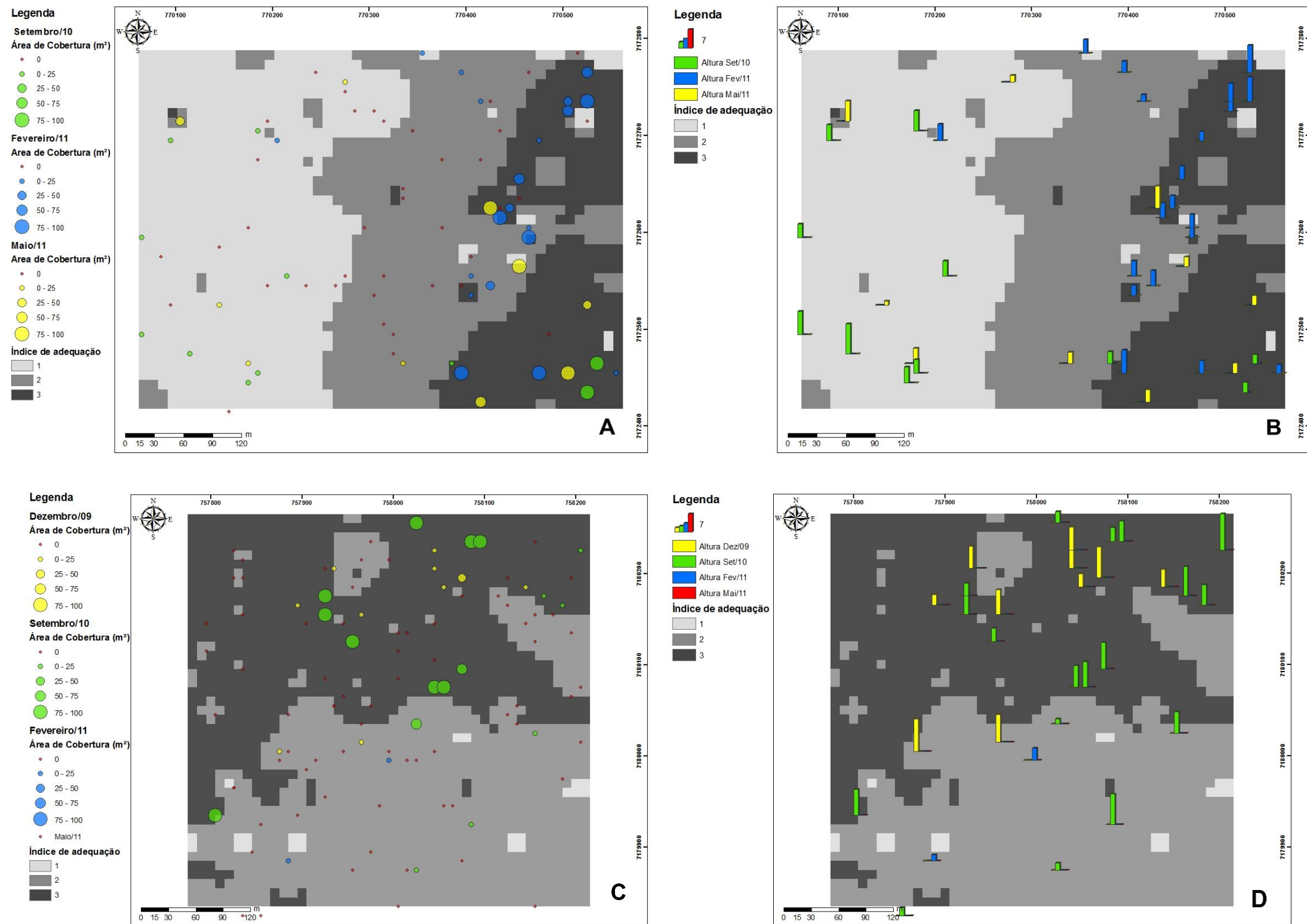


Figura 24 - Mapa em formato matricial (raster) com células de 10m representando a integração das variáveis sedimentológicas pelo índice de adequação de hábitat (1 - "Pouco adequada"; 2 - "Moderadamente adequada"; 3 - "Muito adequada") relacionado à área de cobertura (A;C) e altura (B;D) de *H. wrightii* no Saco do Limoeiro (A;B) e Baixo do Perigo (C;D).

7. DISCUSSÃO

As áreas rasas apresentaram constituição sedimentológica distinta, que pode ser atribuída ao gradiente hidrológico de decréscimo de energia ao longo do eixo E-W do CEP (KNOPPERS *et al.*, 1987). Esta tendência segue o padrão encontrado para ambientes estuarinos, com sedimentos mais finos à montante, depositados em ambiente de baixa energia, associados a alto teor de matéria orgânica e baixo grau de seleção e de sedimentos mais grossos e bem selecionados em áreas onde a ação hidrodinâmica é mais intensa (NETTO & LANA, 1997; LAMOUR *et al.*, 2004; CATTANI, 2012).

No entanto, os teores de carbonatos verificados para ambas as áreas rasas (até 44%) foram superiores aos encontrados por Netto & Lana (1997) em planícies de maré não vegetadas e recobertas por *Spartina alterniflora* ao longo do CEP, que não ultrapassaram 1,8%. Lamour *et al.* (2004) encontraram altos teores de carbonatos para a região próxima à Ilha das Cobras ($\approx 20\%$), mas não para o Saco do Limoeiro. Isto aponta para uma tendência deposicional nestes ambientes rasos, sem competência do fluxo para transportar partículas maiores (DYER, 1995).

Principalmente em relação à distribuição dos carbonatos, neste estudo foi evidenciada maior heterogeneidade do ambiente sedimentar do Saco do Limoeiro em pequena escala (50 m), em contraposição à aparente homogeneidade na distribuição dos parâmetros sedimentológicos verificada por Possenti (2009) para a mesma área, em uma escala de 500 m.

A heterogeneidade na distribuição dos parâmetros sedimentológicos nas planícies de maré do CEP foi atribuída, por Netto & Lana (1997) à presença da vegetação de marisma (*Spartina alterniflora*). Por analogia, e considerando-se que as áreas com maior teor de carbonatos corresponderam à ocorrência de *H. wrightii*, levanta-se a hipótese de que as pradarias poderiam contribuir para esta heterogeneidade espacial por meio da produção local de sedimentos biogênicos em decorrência da presença de epífitas e invertebrados bentônicos associados a esse ecossistema (SORDO, 2008; SORDO *et al.*, 2011), sem que haja transporte do material, assim como indicado pela literatura (DE FALCO *et al.*, 2000; DE FALCO *et al.*, 2003; GACIA *et al.*, 2003; DE FALCO *et al.*, 2008).

As alterações temporais de aumento no teor de matéria orgânica e finos, com redução no teor de carbonatos, verificadas para o ponto amostral 1031 podem ter sido relacionadas à ocorrência de fanerógamas marinhas no local em maio, que correspondeu ao mês de maior desenvolvimento de *H. wrightii* no Saco do Limoeiro. O processo denominado “*muddification*” por Van Katwijk *et al.* (2010) é comumente verificado após o desenvolvimento de fanerógamas marinhas, pelo aprisionamento de partículas sedimentares finas em suspensão e adsorção de matéria orgânica nas mesmas, em decorrência de um decréscimo na energia hidrodinâmica ocasionado pela presença das fanerógamas marinhas (BOS *et al.*, 2007). Em substratos de granulometria mais grossa, como é o caso do Saco do Limoeiro, este mecanismo seria, segundo Van Katwijk (2010), responsável por aumentar os nutrientes disponíveis para o crescimento da vegetação submersa.

Apesar de as espécies a que geralmente se referem estes estudos serem de maior porte em relação às pradarias de *H. wrightii* próximas ao seu limite Sul de distribuição, podemos inferir que os efeitos seriam comparáveis, uma vez que a atenuação do fluxo e seus efeitos são dependentes da relação entre altura das fanerógamas marinhas e profundidade da coluna de água, e não da altura *per se* (FONSECA & FISHER, 1986). Sendo assim, a altura das pradarias do Paraná seria suficiente para ocupar uma porção da coluna d'água (de ao menos 40%) considerada significativa por Fonseca & Fisher (1986), suficiente para reduzir em ao menos o dobro a energia de fluxo inicial durante períodos de maré vazante nas áreas rasas.

No escopo deste trabalho não é possível avaliar a relação de causalidade, apenas fazer inferências quanto à possível causa destas alterações sedimentológicas em curta escala de tempo. Além disso, o método de análise granulométrica utilizado pode não ser sensível o suficiente para detectar alterações em curta escala de tempo, da ordem de meses. Alterações nas características dos sedimentos em decorrência da presença de *H. wrightii* devem ser melhor investigadas no CEP, de forma a avaliar se o processo de aumento de matéria orgânica e finos após o estabelecimento de pradarias relatado por diversos autores (BOS *et al.*, 2007) também é válido para a área de estudo.

Diferentemente do que foi verificado por Sordo *et al.* (2011) para a pradaria da Ilha Rasa da Cotinga, o máximo de desenvolvimento para o Saco do Limoeiro

ocorreu em maio, e não durante os meses de primavera e verão como seria o esperado de acordo com a literatura (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 1997; CREED, 1999; GUEBERT-BARTHOLO *et al.*, 2011; SORDO *et al.*, 2011).

A redução das pradarias da Ilha Rasa da Cotinga durante o inverno foi atribuída por Sordo *et al.* (2011) à incidência de sistemas frontais, associada a baixo teor de finos nos sedimentos de fundo e alta turbidez. O mesmo mecanismo não seria significativo para o Saco do Limoeiro, em decorrência de sua orientação para SW, que o torna protegido da incidência de ventos e ondulações de S-SE, geralmente associados a sistemas frontais. Uma vez que durante o inverno a pluviosidade é menor e em consequência, a turbidez, o abrigo da incidência de sistemas frontais é a condição que pode ter possibilitado o desenvolvimento de *H. wrightii* nesta área em maio.

Já o Baixio do Perigo apresentou tendência condizente com o esperado, com máximo de desenvolvimento na primavera. Houve redução gradativa das pradarias do Baixio do Perigo ao longo do período amostrado, com desaparecimento em maio de 2011, quando foi constatado por observação direta o soterramento da vegetação nos pontos amostrados.

Esta constatação sugere a ocorrência de um processo de acreção sedimentar localizado, que provavelmente foi o responsável pela redução na cobertura e desenvolvimento das fanerógamas marinhas. De acordo com a ouvidoria da Associação dos Portos de Paranaguá e Antonina - APPA (2011), em fevereiro de 2011 foi realizada a dragagem dos berços de atracação do porto. Essa região, caracterizada por sedimentos finos (LAMOUR *et al.*, 2004) é constantemente dragada, ocasionando a ressuspensão e transporte da pluma de sedimentos por correntes de maré vazante, mais intensas, e deposição em um ambiente de baixa energia como o Baixio do Perigo. Esse processo pode ter sido o responsável por comprometer o desenvolvimento das pradarias nesta área rasa.

A isto podem ser somadas as causas naturais, como o aumento sazonal de material particulado em suspensão e redução na transparência da água, correspondente ao verão, quando há maior aporte de partículas sedimentares para o interior do estuário (MACHADO *et al.*, 1997). Considerando que o aporte sedimentar a partir das bacias de drenagem fluvial é maior na cabeceira do CEP e que este é influenciado por eventos episódicos de alta pluviosidade em decorrência da elevada

susceptibilidade geopedológica a movimentos de massa e processos erosivos das bacias hidrográficas (PAULA, 2010), pode ter ocorrido intensificação do aporte por um evento de alta pluviosidade ocorrido em março de 2011 (PINTO *et al.*, 2012). Este evento, considerado o maior evento pluviométrico da história de monitoramento do estado do Paraná, teria ocasionado intenso aporte de sedimentos a partir da cabeceira do estuário, que seriam transportados por correntes de maré vazante até depositarem-se em áreas rasas de baixa energia como o Baixio do Perigo. Já o Saco do Limoeiro, submetido à ação da dinâmica de desembocadura, apresenta menores valores de material particulado em suspensão (LANA *et al.*, 2001; CATTANI, 2009), e estaria menos sujeito a essa influência.

Para cada área rasa amostrada, no interior dos 120.000 m² correspondente à malha amostral, as variações na profundidade, velocidade de correntes, e parâmetros físico-químicos, podem ser consideradas praticamente as mesmas (especialmente). Dessa forma, a variabilidade espacial das fanerógamas marinhas em pequena escala (50 m) pode ser atribuída, a princípio, a variações nas características dos sedimentos de fundo. Bradley e Stolt (2006) sugeriram que diferenças na distribuição das fanerógamas marinhas são mais bem explicadas estatisticamente pelas características dos sedimentos e hidrodinâmica, em relação à transparência da água e profundidade.

De fato, a área de cobertura e altura das fanerógamas marinhas puderam ser relacionadas estatisticamente às características dos sedimentos, como teor de finos e grau de seleção. Sordo *et al.* (2011) encontraram relações dos parâmetros morfométricos de *Halodule wrightii* no CEP com grau de seleção, diâmetro médio e teor de grânulos. Estes parâmetros são fortemente correlacionados, e refletem o teor de carbonatos contidos nos sedimentos. Isso porque ao incorporar conchas nas análises granulométricas, um alto teor de carbonatos é refletido em alto teor de grânulos, maior diâmetro médio, e piora do grau de seleção.

No Saco do Limoeiro, os pontos amostrais onde ocorreu o Padrão sedimentológico 1 apresentaram a mesma tendência da área geral, sendo associados à ausência de fanerógamas marinhas. Já o Padrão 2, associado à presença de *Halodule wrightii*, foi caracterizado pelas classes menos representativas da tendência geral (e.g. areia média – 18% do total), indicando distribuição em uma área restrita, como pôde ser observado nos mapa de distribuição dos parâmetros

sedimentológicos em relação à ocorrência de *H. wrightii*. Por este motivo, apesar de no Saco do Limoeiro ser encontrado alto percentual de cobertura, a área classificada como “muito adequada” representa apenas 21,78% do total.

Já no Baixio do Perigo, as características determinadas como ideais à presença de *H. wrightii* foram as mesmas da tendência geral, sendo que as fanerógamas marinhas apresentaram-se amplamente distribuídas em uma região maior da área rasa. Assim, 49,45% do Baixio do Perigo foi caracterizada como “muito adequada” à ocorrência de *H. wrightii*, apesar de a área recoberta por fanerógamas marinhas ao longo do período amostrado ter sido baixa. Isso enfatiza que as alterações ambientais de origem natural ou antrópica já descritas modificaram as condições que em primeira instância seriam favoráveis ao desenvolvimento de fanerógamas marinhas, acarretando em seu desaparecimento.

As regiões consideradas “muito adequadas” à ocorrência de *H. wrightii* em ambas as áreas rasas corresponderam a maior teor de carbonatos associados a finos, refletindo em baixo grau de seleção e maior diâmetro médio, com menor teor de matéria orgânica. Este mesmo padrão foi encontrado por De Falco *et al.* (2000) no mar Mediterrâneo, costa Oeste da Itália. Ao definirem padrões sedimentológicos por análise de agrupamento e relacionarem à ocorrência da espécie *Posidonia oceânica*, De Falco *et al.* (2000) constataram que a maior área de cobertura (>50%) foi associada a sedimentos pobremente selecionados, pela mistura de alto teor de partículas carbonáticas e sedimentos finos. Os mesmos autores encontraram um padrão sedimentológico distinto para uma região não vegetada, caracterizado por areias finas, bem selecionadas, com teor de matéria orgânica e carbonatos relativamente menores, como o verificado para o Padrão 2 neste estudo.

Também corroborando com o encontrado por De Falco *et al.* (2000), as regiões vegetadas são mais rasas, e se tornam emersas durante os períodos de estofa da vazante em marés de sizígia (*obs. pess.*). A menor profundidade em que estão localizadas possivelmente possibilita maior penetração de luz na coluna d'água, o que pode favorecer seu desenvolvimento (DE FALCO *et al.*, 2000; KOCH, 2001). No entanto, áreas rasas também são mais sujeitas à ressuspensão de sedimentos (KOCH, 2001) e, por este motivo, a presença de partículas maiores, no caso as carbonáticas, pode contribuir para o desenvolvimento de fanerógamas

marinhas no sentido de reduzir a ressuspensão de sedimentos finos e favorecer a oxigenação do substrato.

Na área rasa de maior salinidade, o Saco do Limoeiro, as regiões classificadas como “adequadas” à ocorrência de *H. wrightii* foram de maior granulometria (areia média a grossa) e relativo menor teor de finos (máximo de 4,74%) em relação às áreas “adequadas” no Baixio do Perigo (areia fina a média, com teor de finos máximo de 25,33%), relativamente com menor salinidade. Isso pode refletir a maior importância da oxigenação do substrato em áreas vegetadas mais salinas, em que o aumento dos níveis de sulfeto nos sedimentos anóxicos é mais evidente (KOCH, 2001).

Sugere-se a existência de um processo de retroalimentação envolvendo as pradarias de *Halodule wrightii* do CEP e os sedimentos, com ocorrência de fanerógamas em áreas com condições propícias de granulometria, nutrientes e luz solar e possível modificação destes a partir de sua colonização, o que reforça a importância da conservação das pradarias para a manutenção da dinâmica do complexo estuarino.

8. CONCLUSÕES

As pradarias de *Halodule wrightii* puderam ser relacionadas a teores de carbonatos entre 5 e 15 %, teor de finos maior que 2,5%, teor de matéria orgânica inferior a 2,5% e areias finas a grossas, predominantemente areias médias.

As diferenças temporais significativas em área de cobertura e altura verificadas entre as duas áreas rasas indicam que não podem ser feitas generalizações quanto ao período de máximo desenvolvimento das pradarias, que estaria relacionado à dinâmica a que a área rasa está sujeita de acordo com sua localização no CEP, e não diretamente associado à estação do ano.

A compreensão da dinâmica interanual das pradarias permite avaliar sua disponibilidade enquanto recurso alimentar e sua influência na produtividade e ocorrência de organismos associados. Nesse sentido, o uso desta metodologia que utiliza o ambiente SIG possibilitou o acompanhamento das variações espaço-

temporais das pradarias e a correlação com outros parâmetros ambientais, mostrando-se eficiente como ferramenta para a delimitação de áreas-chave para a conservação do ecossistema em todo o CEP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO-FILHO, G. M.; CREED, J. C.; ANDRADE, L. R.; PFEIFFER, W. C. Metal accumulation by *Halodule wrightii* populations. **Aquatic Botany**, n. 80, p. 241 – 251, 2004.

ANGULO, R. J. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, São Paulo, v. 71, n. 4 II, p. 935 – 959, 1999.

ANGULO, R. J. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55, p. 25 – 42, 2004.

ARAÚJO, A. D. **Dinâmica sedimentar e evolução paleogeográfica do Saco do Limoeiro na Ilha do Mel, e sua relação com o canal de acesso ao porto de Paranaguá**. Dissertação (Mestrado em Geologia), 73 f., Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

BARKO, J. W.; SMART, R. M. Sediment-related mechanisms of growth limitation in submersed macrophytes. **Ecology**, v. 67, n. 5, p. 1328 – 1340, 1986.

BARKO, J. W.; ADAMS, M. S.; CLESCERI, N. L. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a review. **Journal of Aquatic Plant Management**, n. 24, p. 1 – 10, 1986.

BARKO, J. W. GUNNISON, D.; CARPENTER, S. R. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics. **Aquatic Botany**, n. 41, p. 41 – 65, 1991.

BOS, A. R.; BOUMA, T. J.; DE KORT, G. L. J.; VAN KATWIJK, M. M. Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: Sediment accretion and modification. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n. 74, p. 344 – 348, 2007.

BRADLEY, M. P.; STOLT, M. H. Landscape-level seagrass-sediment interactions in a coastal lagoon. **Aquatic Botany**, n. 84, p. 121 – 128, 2006.

BURREL, D. C; SCHUBEL, J. R. Seagrass ecosystem oceanography. In: Marine Science, v. 4. **Seagrass Ecosystems – A scientific perspective**. Eds. McRoy, C. P. & Helfferich, C. Marcel Dekker Inc. New York and Basel. p. 195 – 232, 1977.

CAMARGO, M. G. Sysgran: Um sistema de código aberto para análises granulométricas de sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 371 – 378, 2006.

CARVER, R. E., Settling analysis. In: **Procedures in sedimentary petrology**. Wiley-Interscience, New York, p. 427-452, 1971.

CATTANI, P.E. **Estimativa do assoreamento sedimentar ao longo da Baía de Paranaguá – PR**. Monografia (Graduação em Oceanografia). 102 f. Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2009.

CATTANI, P.E. **Caracterização geomorfológica e sedimentológica do eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos). 45 f. Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2012.

CHILDS, C. Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. **ArcUser**, n. 23, p. 32 – 35, 2004.

CREED, J. C. Morphological variation in the seagrass *Halodule wrightii* near its southern distributional limit. **Aquatic Botany**, n. 59, p. 163 – 172, 1997.

CREED, J. C. Distribution, seasonal abundance and shoot size of the seagrass *Halodule wrightii* near its southern limit at Rio de Janeiro state, Brazil. **Aquatic Botany**, n. 65, p. 47 – 58, 1999.

CREED, J. C.; AMADO-FILHO, G. M. Disturbance and recovery of the macroflora of a seagrass (*Halodule wrightii*) meadow in the Abrolhos Marine National Park, Brazil: an experimental evaluation of anchor damage. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, n. 235, p. 285 – 306, 1999.

CREED, J. C. The biodiversity of Brazil's seagrasses and seagrass habitats: A first analysis. **Biologia Marina Mediterranea**, v. 7, n. 2, p. 207 – 210, 2000.

DAVIS, F.; STOMS, D. M.; ESTES, J. E.; SCEPAN, J.; SCOTT, M. An information system approach to the preservation of biological diversity. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 4, n. 1, p. 55 – 78, 1990.

DE BOER, W. F. 2007. Seagrass – sediment interactions, positive feedbacks and critical thresholds for occurrence: a review. **Hydrobiologia**, n. 591, p. 5 – 24, 2007.

DE FALCO, G.; FERRARI, S.; CANCEMI, G.; BAROLI, M. Relationship between sediment distribution and *Posidonia oceanica* seagrass. **Geo-Marine Letters**, n. 20, p. 50 – 57, 2000.

DE FALCO, G.; MOLINAROLI, E.; BAROLI, M., BELLACICCO, S. Grain size and compositional trends of sediments from *Posidonia oceanica* meadows to beach shore, Sardinia, western Mediterranean. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n. 58, p. 299 – 309, 2003.

DE FALCO, G.; BAROLI, M.; CUCCO, A.; SIMEONE, S. Intrabasinal conditions promoting the development of a biogenic carbonate sedimentary facies associated with the seagrass *Posidonia oceanica*. **Continental Shelf Research**, n. 28, p. 797 – 812, 2008.

DELGADO, O.; RUIZ, J.; PÉREZ, M.; ROMERO, J.; BALLESTEROS, E. Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean Bay: seagrass decline after organic loading cessation. **Oceanologica acta**. v. 22, n. 1, p. 109 – 117, 1999.

DEN HARTOG, C. **The seagrasses of Brazil**. Acta Botanica Neerlandica, n. 21, p. 512 – 516, 1972.

DUARTE, M. D. Seagrass depth limits. **Aquatic Botany**, n. 40, p.363 – 377, 1991.

DUARTE, C. M., The future of seagrass meadows. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 2, p. 192 – 206, 2002.

DYER, K.R. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G.M.E. (ed.). **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries**. Developments in Sedimentology, n. 53. Elsevier, p. 423 – 449, 1995.

ERFTEMEIJER, P. L. A.; LEWIS III, R. R. R. Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. **Marine Pollution Bulletin**. v. 52, p. 1553 – 1572, 2006.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, n. 27, p. 3 – 26, 1957.

FONSECA, M. S.; FISHER, J. S. A comparison of canopy friction and sediment movement between four species of seagrass with reference to their ecology and restoration. **Marine Ecology Progress Series**, v. 29, p. 15 – 22, 1986.

FONSECA, M. S.; CALAHAN, J. A. A Preliminary Evaluation of Wave Attenuation by Four Species of Seagrass. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n. 35, p. 565 – 576, 1992.

FONSECA, M. S.; KOEHL, M. A. R. Flow in seagrass canopies: The influence of patch width. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n. 67, p. 1 – 9, 2006.

GACIA, E.; GRANATA, T. C.; DUARTE, C. M. An approach to measurement of particle flux and sediment retention within seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. **Aquatic Botany**. n. 65, p. 255 – 268, 1999.

GACIA, E.; DUARTE, C. M.; MARBA, N.; TERRADOS, J.; KENNEDY, H.; FORTES, M. D.; TRI, N. H. Sediment deposition and production in SE-Asia seagrass meadows. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n. 56, p. 909 – 919, 2003.

GONÇALVES, J. E.; PAULA, E. V.; OLIVEIRA, A. C.; NOCKO, H. R.; REKSIDLER, R. Modelagem Hidrodinâmica e de Transporte de Sedimentos na Baía de Antonina. Antonina: ADEMADAN. **Relatório Técnico Terminais Portuários Ponta do Felix**. 43 p. 2005.

GUEBERT, F. M. **Ecologia alimentar e consumo de material inorgânico por tartarugas-verdes, *Chelonia mydas*, no litoral do Estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Paraná, 76 p., Curitiba, 2008.

GUEBERT-BARTHOLO, F. M.; BARLETTA, M.; COSTA, M. F.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Using gut contents to assess foraging patterns of juvenile Green turtles *Chelonia mydas* in the Paranagua Estuary, Brazil. **Endangered Species Research**, v. 13, p. 131 – 143, 2011.

HARLIN, M. M.; THORNE-MILLER, B. Seagrass-sediment dynamics of a flood tidal delta in Rhode Island (U.S.A.). **Aquatic Botany**, n. 14, p. 127 – 138, 1982.

HEMMINGA, M. A. & DUARTE, C. M. **Seagrass Ecology**. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 297 p., 2000.

IGIA (Instituto GIA). **Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura: Paraná**. MPA (Ministério da Pesca e Aquicultura), Brasília, 2010.

IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4. Disponível em: <www.iucnredlist.org>. Acesso em: 03 Novembro 2012.

KALDY, J. E.; DUNTON, K. H.; KOWALSKY, J. L.; LEE, K. S. Factors controlling seagrass revegetation onto dredged material deposits: A case study in lower Laguna Madre, Texas. **Journal of Coastal Research**, v.1, n. 20, p. 292 – 300, 2004.

KNOPPERS, B. A.; BRANDINI, F. P; THAMM C. A. Ecological studies in the bay of Paranaguá. II. Some physical and chemical characteristics. **Nerítica**, Curitiba, v. 2, p.1 – 36, 1987.

KOCH, E.W. 2001. Beyond light: Physical, Geological and Geochemical Parameters as Possible Submersed Aquatic Vegetation Habitat Requirements. **Estuaries**, v. 24, n. 1, p. 1 – 17, 2001.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C. R.; CARRILHO, J. C. Mapas de parâmetros texturais de sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, Pontal do Sul, Editora UFPR, v. 55, p. 77 – 82, 2004.

LAMOUR, M. R.; DOMIT, C.; CATTANI, P. E.; PAULA, E. V. Análise espacial de ambientes estuarinos e costeiros: subsídio a estudos de caracterização física e ecológica. (*in prep.*)

LAMOUR, M. R., SOARES, C. R., & CARRILHO, J. C. Mapas de parâmetros texturais de sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55, p. 77 – 82, 2004.

LAMOUR, M. R. 2007. **Morfodinâmica sedimentar da desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná. 162 p. Curitiba.

LAMOUR, M.R. & SOARES, C.R. Histórico das atividades de dragagem e taxas de assoreamento nos canais de navegação aos portos costeiros paranaenses. *In*: BOLDRINI, E. B.; SOARES, C. R.; PAULA, E. V. (Orgs.). **Dragagens Portuárias no Brasil**: Licenciamento e Monitoramento Ambiental. Antonina: Governo do Estado do Paraná; SEMA/PR; ADEMADAN; UNIBEM. 2007. p. 232 – 234, 2007.

LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay. *In*: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Ed.). 42 **Coastal Marine Ecosystems of Latin America**. Berlin, Springer, p. 132 – 145, 2001.

LANG, S.; BLASCHKE, T. Detecção de habitats. p. 186 – 224. *In*: LANG, S.; BLASCHKE, T (Eds.) **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo, Oficina de Textos, 424 p., 2009.

MACHADO, E. C.; DANIEL, C. B.; BRANDINI, N.; QUEIROZ, R. L. V. Temporal and spatial dynamics of nutrients and particulate suspended matter in Paranaguá Bay, PR, Brazil. **Nerítica**, v. 11, p.17 – 36, 1997.

MADSEN, J. D.; CHAMBERS, P. A.; JAMES, W. F.; KOCH, E. W.; WESTLAKE, D. F. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. **Hydrobiologia**, n. 444, p. 71 – 84, 2001.

MARQUES, L.V.; CREED, J.C. Biologia e ecologia das fanerógamas marinhas do Brasil. **Oecologia brasiliensis**, v. 12, n. 2, p. 315 – 331, 2008.

MARONE E.; CAMARGO R. Efeitos de maré meteorológica na Baía de Paranaguá, PR. **Nerítica**. v. 8, n. 1-2, p. 73 – 85, 1994.

MATHESON, F. E.; SCHWARZ, A. M. Growth responses of *Zostera capricorni* to estuarine sediment conditions. **Aquatic Botany**, n. 87, p. 299 – 306, 2007.

MOURA, S. P. G. **Avaliação da ocorrência de resíduos sólidos em áreas de alimentação de tartarugas-verde, *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758), no Complexo Estuarino de Paranaguá, Brasil**. Monografia (Graduação em Biologia) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Pontal do Paraná, 2011.

MOURA, S.P.G.; GAMA, L.R.; ROSA, L.; DOMIT, C. Avaliação da ocorrência de resíduos sólidos em áreas de alimentação de *Chelonia mydas* (LINNAEUS, 1758), no Complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil. Anais da V JORNADA

SOBRE TARTARUGAS MARINHAS DO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL – Florianópolis, Brasil. p. 55 – 57, 2011.

NETTO, S. A.; LANA, P. C. Influence of *Spartina alterniflora* on superficial sediment characteristics of tidal flats in Paranaguá Bay (South-eastern Brazil). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n. 44, p. 641 – 648, 1997.

NOERNBERG, M.A. **Processos Morfodinâmicos no complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil: Um estudo a Partir de Dados *in situ* e LANDSAT – TM**. Tese (Doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

NOERNBERG, M. A.; LAUTERT, L. F. C.; ARAÚJO, A. D.; MARONE, E.; ANGELOTTI, R.; NETTO JR, J. P. B.; KRUG, L. A. Remote sensing and GIS integration for modelling the Paranaguá Estuarine Complex – Brazil. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, v. 39, p. 1627 – 1631, 2006.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; WAGNER, H. Vegan: Community Ecology Package. R Package version 2.0-4. Acesso em: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>. 2012.

OLIVEIRA FILHO, E. C.; PIRANI, J. R.; GIULETTI, A. M. The brazilian seagrasses. **Aquatic Botany**. n. 16, p. 251 – 267, 1983.

OLIVEIRA FILHO, E. C.; CORBISIER, T. N.; ESTON, V. R.; AMBRÓSIO- JÚNIOR, O. Phenology of a seagrass (*Halodule wrightii*) bed on the southeast coast of Brazil. **Aquatic Botany**, v. 56, p. 25 – 33, 1997.

OMENA, E.; CREED, J. C. Polychaete fauna of seagrass beds (*Halodule wrightii* Ascherson) along the coast of Rio de Janeiro (Southeast Brazil). **Marine Ecology**, v. 25, p. 273 – 288, 2004.

ORTH, R.J.; CARRUTERS, T.J.B.; DENNISON, W.C.; DUARTE, C.M.; FOURQUREAN, J.W.; HECK JR., K.L.; HUGHES, A.R.; KENDRICK, G.A.; KENWORTHY, W.J.; OLYARNIK, S.; SHORT, F.T.; WAYCOTT, M.; WILLIAMS, S.L. A global crisis for seagrass ecosystems. **Bioscience**, v. 56, n. 12, p. 987 – 996, 2006.

PAULA, E. V. **Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR uma abordagem geopedológica.** Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 155 f., 2010.

PERRY, C. T.; BEAVINGTON-PENNEY, S. J. Epiphytic calcium carbonate production and facies development within sub-tropical seagrass beds, Inhaca Island, Mozambique. **Sedimentary Geology**, v.174, p.161 – 176, 2005.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, Estado do Paraná. *Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia*. Maringá, v. 4, n. 1, p. 3 – 27, 2012.

POSSENTI, S. **Características do transporte sedimentar em um delta de maré enchente no litoral do Paraná.** Monografia (Graduação em Oceanografia), Universidade Federal do Paraná, 70 f., Pontal do Paraná, 2009.

SHORT, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics.** Editora John Wiley & Sons Ltd., New York. 392p., 1999.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. 2012.

ROSA, L. **Estudo da biologia reprodutiva na fase juvenil da tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) no litoral do Estado do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos), Universidade Federal do Paraná, 63 f., Pontal do Paraná, 2009.

SHORT, F.T., MCKENZIE, L.J., COLES, R.G., VIDLER, K.P., GAECKLE, J.L. **SeagrassNet Manual for Scientific Monitoring of Seagrass Habitat**, Worldwide edition. University of New Hampshire Publication. 75 p., 2006.

SHORT, F.; CARRUTHERS, T.; DENNISON, W.; WAYCOTT, M. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, n. 350, p. 3 – 20, 2007.

STEVENS, A. W.; LACY, J. R. The influence of wave energy and sediment transport on seagrass distribution. **Estuaries and Coasts**, n. 35, p. 92 – 108, 2012.

SORDO, L. **Alterações na estrutura e funcionamento de um banco de *Halodule wrightii* (Cymodoceaceae) durante um florescimento massivo de epífitas na baía de Paranaguá (Paraná, Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos), Universidade Federal do Paraná, 73 f., Pontal do Paraná, 2008.

SORDO, L.; FOURNIER, J.; OLIVEIRA, V. M.; GERN, F.; PANIZZA, A. C.; LANA, P. C. Temporal variations in morphology and biomass of vulnerable *Halodule wrightii* meadows at their southernmost distribution limit in the southwestern Atlantic. **Botanica Marina**, v. 54, p. 13 – 21, 2011.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blucher LTDA : 317p., 1973.

VAN KATWIJK, M. M.; BOS, A. R.; HERMUS, D. C. R; SUYKERBUYK, W. Sediment modification by seagrass beds: Muddification and sandification induced by plant cover and environmental conditions. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n. 89, p. 175 – 181, 2010.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 49 – 63, 2008.

VIEIRA, C. V.; FILHO HORN, N. O.; BONETTI, C. V. D. H. C.; BONETTI, J. Caracterização morfosedimentar e setorização do Complexo Estuarino da Babitonga/ SC. **Boletim Paranense de Geociências**, n. 62 – 63, p. 85 – 105, Editora UFPR, 2008.

WARD, L. G.; KEMP, W. M.; BOYNTON, W. R. The influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment. **Marine Geology**, n.59, p.85 – 103, 1984.

WENTWORTH, C. R. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v.30, p. 377 – 392, 1922.