

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Instituto de Oceanografia

Programa de Pós-Graduação em Aquicultura

AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DA CRIAÇÃO DE MARISMAS PELO PLANTIO
DE GRAMÍNEAS BIOENGENHEIRAS DO GÊNERO SPARTINA NO ESTUÁRIO
DA LAGOA DOS PATOS, RS, BRASIL.

Adriana Martins Guedes de Azevedo (M.Sc.)

Rio Grande, RS

2015

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Instituto de Oceanografia

Programa de Pós-Graduação em Aquicultura

AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DA CRIAÇÃO DE MARISMAS PELO PLANTIO
DE GRAMÍNEAS BIOENGENHEIRAS DO GÊNERO SPARTINA NO ESTUÁRIO
DA LAGOA DOS PATOS, RS, BRASIL.

Adriana Martins Guedes de Azevedo (M.Sc.)

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção
do grau de Doutora em Aquicultura no Programa de Pós-
Graduação em Aquicultura da Universidade Federal do
Rio Grande-FURG

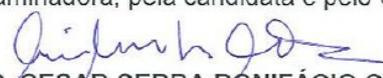
Orientador: César Serra Bonifácio Costa

Rio Grande

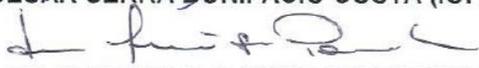
Setembro – 2015

ATA 11/2015

No dia vinte e quatro de setembro de dois mil e quinze, às quinze horas e trinta minutos, no Auditório da Estação Marinha de Aquicultura da FURG, reuniu-se a Banca Examinadora de Tese de Doutorado em Aquicultura, da Bióloga **ADRIANA MARTINS GUEDES DE AZEVEDO**, orientada pelo Professor. Dr. Cesar Serra Bonifácio Costa, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Cesar Serra Bonifácio Costa (Orientador – IO/FURG), Prof. Dr. Luis Henrique da Silva Poersch (IO/FURG), Dra. Ioni Colares (ICB/FURG) e o Dr. David Motta Marques (IPH/UFRGS). Título da Tese: “**AValiação da Efetividade da Criação de Marismas pelo Plantio de Gramas Bioengenheiras do Gênero SPARTINA no Estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil**”. Dando início à defesa, o Coordenador do PPGAq, Prof. Dr. Marcelo Borges Tesser passou a presidência da sessão ao Prof. Dr. Cesar Serra Bonifácio Costa, que na qualidade de orientador, passou a palavra para a candidata apresentar a Tese. Após ampla discussão entre os membros da Banca e a candidata, a Banca se reuniu sob a presidência do Coordenador. Durante esse encontro ficou estabelecido que as sugestões dos membros da Banca Examinadora devem ser incorporadas na versão final, ficando a cargo do Orientador o cumprimento desta decisão. A candidata **ADRIANA MARTINS GUEDES DE AZEVEDO** foi considerada **APROVADA**, devendo a versão definitiva da Tese ser entregue na Secretaria do PPGAq, no prazo estabelecido nas Normas Complementares do Programa. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, será assinada pela Banca Examinadora, pela candidata e pelo Coordenador do PPGAq.



PROF. DR. CESAR SERRA BONIFÁCIO COSTA (IO/FURG) ORIENTADOR



PROF. DR. LUIS HENRIQUE DA SILVA POERSCH (IO/FURG)



DRA. IONI COLARES (ICB/FURG)



DR. DAVID MOTTA MARQUES (IPH/UFRGS)



ADRIANA MARTINS GUEDES DE AZEVEDO



PROF. DR. LUIS HENRIQUE POERSCH (Cordenador adjunto do PPGAq).

FICHA CATALOGRÁFICA

A994a Azevedo, Adriana Martins Guedes de.

Avaliação da efetividade da criação de marismas pelo plantio de gramíneas bioengenharias do gênero *spartina* no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil / Adriana Martins Guedes de Azevedo. – 2015.
165 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-graduação em Aquicultura, Rio Grande/RS, 2015.
Orientador: Dr. César Serra Bonifácio Costa.

1. Marismas 2. Gramíneas 3. Bioengenharia 4. *Spartina* 5. Estuário da Lagoa dos Patos I. Costa, César Serra Bonifácio II. Título.

CDU 574

Catologação na Fonte: Bibliotecário Me. João Paulo Borges da Silveira CRB 10/2130

ÍNDICE

Dedicatória.....	iv
Agradecimentos.....	v
Lista de Tabelas.....	vi
Lista de Figuras.....	ix
Resumo Geral.....	xii
Abstract Geral.....	xiv
Introdução Geral.....	1
Referências.....	12
Capítulo I. Efeitos da densidade de plantio e da adição de nutrientes na produção de mudas de gramas halófitas em recipientes.....	18
Resumo.....	19
1. Introdução.....	20
2. Material e Métodos.....	22
2.1. Experimento de 2009 – Densidade de plantio e adubação com N e P.....	23
2.2. Experimento de 2011 - adubação com diferentes relações N:P.....	24
2.3. Análises Estatísticas.....	24
3. Resultados.....	26
3.1. Experimento de 2009.....	26
3.2. Experimento de 2011.....	26
4. Discussão.....	28
4.1. Densidade de plantio de <i>S. alterniflora</i>	28
4.2. Razão N:P.....	29
5. Conclusões.....	31
Referências.....	31
Capítulo II. Efetividade e funcionalidade de novas áreas de marismas criadas em um estuário micromareal	40
Resumo.....	41
1. Introdução.....	43
2. Material e Métodos.....	46
2.1 - Localização da área de estudo.....	46

2.2 - Coleta de dados nas marismas naturais e criadas.....	47
2.2.1 - Características sedimentológicas e da água intersticial.....	48
2.2.2 -Avaliação da cobertura vegetal.....	49
2.2.3 - Caracterização da biomassa vegetal.....	49
2.3 - Análises de Dados.....	50
3. Resultados.....	51
3.1 - Características sedimentológicas e da água intersticial.....	51
3.2 - Nutrientes intersticiais.....	52
3.3 - Salinidade, condutividade, pH e potencial redox da água intersticial.....	53
3.4 - Fisiografia e cobertura vegetal.....	55
3.5 - Composição da biomassa.....	56
3.6 - Análises discriminante das marismas.....	58
4. Discussão.....	59
4.1. Comparação estrutural entre marismas criadas e jovens.....	59
4.2 – Alterações estruturais com o amadurecimento das marismas.....	63
5.Conclusão.....	65
Bibliografia.....	65
Capítulo III. Desenvolvimento autogênico de uma marisma criada pelo plantio de <i>Spartina alterniflora</i> sobre forte forçante hidrológico em um estuário micromareal..	98
.....	98
Resumo.....	99
1.Introdução.....	101
2. Material e Métodos.....	105
2.1. Produção de mudas.....	105
2.2. Localização da área de estudo e plantio da grama bioengenheira.....	105
2.3. Condições Meteorológicas e Hidrológicas.....	106
2.4. Coleta sazonal de dados abióticos da água intersticial.....	106
2.5. Coleta anual de parâmetros estruturais abióticos e bióticos.....	107
2.6. Análise dos dados.....	108
3. Resultados.....	109
3.1. Condições climáticas e principais fatores abióticos locais.....	109

3.2 - Topografia, condições edáficas e da água intersticial dos blocos plantados...	109
3.3 - Parâmetros bióticos de estabelecimento e sobrevivência.....	111
4. Discussão.....	112
4.1. Forçante hidrológico.....	112
4.2. Estabelecimento das mudas.....	114
4.3. Estruturação autogênica da marisma ao longo dos três anos.....	116
4.4. Variação espacial entre os blocos.....	120
5. Conclusão.....	122
Bibliografia.....	122
Discussão Geral e Conclusão.....	144

DEDICATÓRIA

*Dedico esta tese às humildes Spartinas, que mesmo nas adversidades diárias
não deixam de resistir e de rebrotar.*

AGRADECIMENTOS

Ao Pai, Filho, Divino Espírito Santo e Nossa Senhora, por todo o suporte, apoio, consolo, Fé, força, coragem, determinação e resiliência,

Aos meus pais Venancio e Cilsa, na Eternidade,

À minha família: Luis "Fera" Augusto, Raphaela "Negra", "Manita" Claudia Martins e minhas sobrinhas Daniela Larissa "Pingo" e Isabela Maria "Índia": voces me mantiveram em pé e deram forças e apoio para que eu seguisse sempre adiante,

Ao meu orientador e irmão Dr. César S. B. Costa, pela oportunidade na segunda excelente orientação, pelos seus valiosos ensinamentos e à sua esposa e minha irmã Igacy Costa, pela amizade, carinho e apoio,

À minha família do sul: Cecília, Teresinha, D. Delma, Paula, Pedro, Juninho e Mateus, obrigada por todo o apoio e suas valiosas orações,

À secretária Elaine Luzia da Silva da Revista Ceres e à sua filha Laurinha, pela ajuda inestimável e sua compreensão. Sem a sua ajuda essa tese não poderia ter sido defendida!

Ao pessoal dos Labs EcoVeco e Biotecnologia de Halófitas: Priscilinha, Karine, Vanessa, Thaisa, Marianna, Renatinha, Ricardo, Manuel, Kennia, Amapola, Alexandre, Daiane, Bia, Raquel. Amigos de outros labs: Cris (Bentos), Fabi e Andréa (Fito), Virgínia e Marta (Lipoa- EMA), meus professores Wanderlen e Daniel, Graça, Edy Jr (Hidroquímica), Paulo (Labgerco) e Glória (Log). Aos professores EcoVeco, Uli, Zoínho e Margareth,

Aos queridos professores do meu comitê de orientação Ioni Collares e Luis Poersch e os professores Marcelo Tesser, Luciano Garcia, Geraldo Fôes, Dariano Krummenhauer e Luis Alberto Romano, pelos valiosos ensinamentos,

Aos secretários da PPGAquicultura Sérgio Pilenghi e Andressa Dotto, pela gentileza e presteza,

Aos motoristas das viaturas, Leonardo (Viaturas), Bruno e professor Votto (Administração IO), professor Lauro Barcellos, Bárbara e D. Zenyr (Museu Oceanografico),

À todos que direta e indiretamente me apoiaram, o meu muito obrigada!

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

1. Médias (\pm erro-padrão) iniciais (30 dias) e finais (80 dias) de altura e do número de folhas vivas das mudas de *Spartina alterniflora* nos diferentes níveis de densidade de plantio (D) e de adição de nutrientes (Nu) no experimento de 2009.....35

2. Resultados das Análises de Variância de máximo desempenho (6 maiores plantas de cada bandeja de cultivo) da altura das hastes, números de folhas vivas, de folhas mortas e de perfilhos produzidos por haste após 120 dias de cultivo de *Spartina alterniflora* e *Spartina densiflora* em diferentes razões N:P de adição de nutrientes (Nu).....36

CAPÍTULO II

1. Caracterização das marismas criadas, jovens e maduras estudadas no estuário da Lagoa dos Patos (Rio Grande, RS). Datas de criação e dos registros aerofotográficos mais antigos (jovens e maduras) das marismas também são apresentados.....78

2. Composição, frequência (FR) e cobertura visual média (CV) das plantas nas marismas criadas, jovens e maduras amostradas no estuário da Lagoa dos Patos (RS).....79

3. Análises de Variância de características edáficas das marismas amostradas entre localidades, origem (criada, jovem e madura), altura do piso entremarés (alta e baixa). As interações local x origem (L*O), local x altura (L*A) e origem x altura (O*A) também foram consideradas.....80

4. Concentrações médias (\pm desvio-padrões), valores mínimos e máximos na água intersticial de fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato das marismas criadas, jovens e maduras de quatro localidades no Estuário da Lagoa dos Patos (n=4).....82

5. Resultados das Análises de Variância das concentrações médias na água intersticial de fosfato e nitrogênio amoniacal entre marismas de quatro localidades (IP, ST, LG e JU),

três origens (criada, jovem e madura), duas alturas do piso entremarés (alta e baixa) no Estuário da Lagoa dos Patos. As interações de segunda ordem local x origem (L*O), local x altura (L*A) e origem x altura (O*A) também foram consideradas.....83

6. Valores médios (\pm erros-padrões), valores mínimos e máximos da condutividade, salinidade, pH e potencial REDOX na água intersticial das marismas criadas, jovens e maduras de quatro localidades no Estuário da Lagoa dos Patos (n=8).....84

7. Análises de Variância da condutividade, salinidade, pH e Redox das marismas amostradas entre localidades, origem (artificial, jovem e madura), altura do piso entremarés (alta e baixa). As interações local x origem (L*O), local x altura (L*A) e origem x altura (O*A) também foram consideradas.....85

8. Análises de Variância da biomassa total (BT), biomassa subterrânea (BS) e percentual de alocação para biomassa subterrânea (PBS) das marismas amostradas entre localidades, origem (artificial, jovem e madura), altura do piso entremarés (alta e baixa). As interações local x origem (L*O), local x altura (L*A) e origem x altura (O*A) também foram consideradas.....87

9. Análise de Discriminante de marismas criadas, jovens e maduras de quatro localidades no Estuário da Lagoa dos Patos. Resultados de diferenças multivariadas significativas entre marismas devido a introdução passo a passo (técnica “forward”) na análise é apresentada pelos valores parciais de Lambda. Correção de Pearson entre as variáveis e as duas principais funções discriminantes são apresentadas. Diferentes letras maiúsculas em cada passo indicam marismas significativamente discriminadas pelas funções compostas pela combinação linear das variáveis introduzidas.....89

CAPÍTULO III

1. Médias e erros-padrões (EP) da altura topográfica dos blocos de plantio de *Spartina alterniflora* em relação ao nível médio da lagoa (NML). Dados obtidos 1 mês e 26 meses após o plantio das mudas (maio 2012).....131

2. Resultados das Análises de Variância dos teores percentuais das frações granulométricas areia, silte e argila, além do teor de matéria orgânica (M.O.) no sedimento superficial entre blocos de plantio de <i>Spartina alterniflora</i> e anos de monitoramento (2012 a 2015).....	132
3. Resultados das Análises de Variância das características da água intersticial (Redox, pH, salinidade, condutividade, nitrogênio amoniacal, fosfato e nitrito) entre blocos de plantio de <i>Spartina alterniflora</i> e datas de amostragens sazonais (da primavera de 2012 ao verão de 2015).....	133
4. Resultado das Análises de Variâncias de medidas repetidas entre blocos de plantio e datas de monitoramento (3 e 9 meses) no período de estabelecimento de <i>Spartina alterniflora</i> para os parâmetros altura das hastes (cm), número de perfilhos, expansão horizontal do perfilho (cm) e taxas de perfilhamento (hastes por mês) e de expansão horizontal (cm por mês).....	134
5. Resultados das Análises de Variância da biomassa aérea (BA), biomassa subterrânea (BS), proporção de biomassa subterrânea (PBS) e densidade das hastes (D) de plantas de <i>Spartina alterniflora</i> entre blocos de plantio e datas de monitoramento (2012, 2013 e 2014).....	135

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

1. (A) Produção de hastes (perfilhos; média \pm erro-padrão) de *S. alterniflora* por bandeja com (NP) e sem adubação de nitrogênio e fósforo em baixa e alta densidade inicial de mudas após 80 dias de cultivo em 2009. Produção de hastes (perfilhos) de *S. alterniflora* (B) e *S. densiflora* (C) por bandeja em diferentes razões N:P após 120 dias de cultivo em 2011.....37

2. Máximo desempenho médio (\pm erro-padrões; 6 maiores plantas) da altura das hastes (a), números de folhas vivas (b), de folhas mortas (c) e de perfilhos (d) produzidos por haste após 120 dias de cultivo de *Spartina alterniflora* e *Spartina densiflora* em diferentes razões N:P de adição de nutrientes.....39

CAPÍTULO II

1. O Estuário da Lagoa dos Patos e as áreas estudadas. 1= Ilha da Pólvora, 2= Santa Teresa, 3= Lar Gaúcho e 4= Junção em mapa e em fotos aéreas as marismas criadas C1, C2 C3 e C4.....91

- 2A e B. Dendrograma resultante da análise da Correlação de Pearson entre as doze marismas; Diagrama da Análise de Correspondência entre as espécies vegetais e as doze marismas.....92

3. Porcentagem de areia, silte, argila e matéria orgânica das doze marismas no estuário da Lagoa dos Patos.....93

4. Condutividade observada e condutividade esperada em mS/cm em salinidades de 5 a 35 das doze marismas amostradas, com destaque das marismas jovens e maduras dos grupos 2 e 4.....94

5. Produção de biomassa total (BT), biomassa subterrânea (BS), biomassa aérea (BA) em g/m², proporção de biomassa subterrânea (PBS), porcentagem da cobertura vegetal (CV) e número de espécies (NSP) das doze marismas amostradas no estuário da Lagoa dos Patos.....95

6. Resultado da Análise Discriminante dos fatores Biomassa Aérea, Nitrogênio Amoniacal, Silte e Fosfato nas marismas criadas, jovens e maduras.....97

CAPÍTULO III

1. Fotos dos blocos 1 e 2 aos tres meses e no final do experimento. A= bloco 1 aos 3 meses, B= bloco 1 em 2015, C= bloco 2 aos tres meses, D= bloco 2 em 2015 e E= vista parcial dos blocos 1 e 2.....137

2. Temperatura do ar em °C (A) , pluviosidade em mm (B), altura (cm NML) e salinidade da água (C) registradas no período de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2015.....138

3. Porcentagem dos sedimentos areia, argila e silte nos blocos 1 e 2 nos anos de 2012 a 2015. Médias de matéria orgânica estão indicadas no topo de cada bloco.....139

4. Potenciais Redox em mV (A), pH (B), salinidades (C) e condutividades dS/m (D) das águas intersticiais coletadas nos blocos 1 e 2, no período entre a primavera de 2012 e verão de 2015.....140

5. Teores de Amônio (A), Fosfato (B) e Nitrito (C) em mg/L observados nas águas intersticiais coletadas nos blocos 1 e 2, no período entre a primavera de 2012 e verão de 2015.....141

6. Altura das hastes em cm (A), número de perfilhos (B), expansão dos perfilhos em cm (C), taxa de perfilhamento (perfilho/mês) (D) e taxa de expansão em cm/mês das mudas de *Spartina alterniflora* em ambos os blocos 1 e 2 e aos 3 e 9 meses após o

plântio.....142

7. Produção de biomassa aérea e subterrânea em g/m² (A), densidade de hastes (indivíduos/m²) (B) e porcentagem de floração (C) nos blocos 1 e 2 nos anos de 2012 a 2015 (densidade de hastes) e 2013 a 2015 (biomassa aérea, subterrânea e porcentagem de floração).....143

RESUMO GERAL

Entre as plantas aquáticas vasculares de ambientes salinizados, as plantas de marismas (banhados costeiros salinizados na zona entremarés) são as mais cultivadas e plantadas pelo homem, particularmente com a finalidade do estabelecimento de barreiras naturais contra a erosão costeira e recuperação de áreas degradadas. Tolerantes a variações de salinidade, submersão periódica e condições hipóxicas do solo, elas são capazes de construir seu próprio ambiente formando estruturas biogênicas. A eficiência das marismas criadas em reproduzir os atributos estruturais e funcionais de marismas naturais ainda é questionada, particularmente se processos autogênicos são capazes de manter o desenvolvimento das marismas sob alta intensidade de forçantes alogênicos. Esta tese visou avaliar a estruturação temporal de marismas criadas através do plantio das gramíneas bioengenheiras nativas *Spartina alterniflora* e *Spartina densiflora* em um estuário micromareal, através da quantificação do processo autogênico e seu relacionamento com a disponibilidade de N e P, heterogeneidade ambiental estuarina e forçantes regionais. No Capítulo I, dois experimentos foram realizados em estufa agrícola para avaliar os efeitos da densidade de plantio e disponibilidade dos nutrientes N e P no desenvolvimento de mudas das gramíneas *S. alterniflora* e *S. densiflora*. Sob alta disponibilidade de nutrientes plantas de *S. alterniflora* tiveram sua produção foliar estimulada e produziram o dobro do número de hastes do que plantas não fertilizadas. Densidades iniciais de 400 ou mais hastes m⁻² resultaram em alongamento vertical excessivo das hastes de *S. alterniflora* (cerca de 100 cm de altura). A adubação com razão 2N:1P resultou em melhor perfilhamento de ambas espécies. O Capítulo II descreve as similaridades e diferenças nas características estruturais de marismas criadas pelo plantio de gramíneas bioengenheiras e marismas naturais de referência, amostradas em 4 localidades no estuário da Lagoa do Patos (RS) durante o verão-outono 2012. Doze espécies de 8 famílias de angiospermas foram encontradas em 597 quadrados (0,5 X 0,5 m) observados. Todas marismas revelaram a presença de *S. alterniflora* nos pisos entremarés baixos e marismas maduras exibiram de 3 a 7 espécies. Análises de Agrupamento e de Correspondência, conforme a matriz de correlação das coberturas visuais, diferenciou as marismas maduras da maioria das marismas criadas e jovens. As marismas amostradas distribuíram-se entre -0,28 m e

+0,91 m NML (nível médio da lagoa) e eram sujeitas a frequências de alagamento de 8,0 a 83,8% do tempo. As marismas maduras foram mais altas no entremarés do que as marismas criadas e jovens locais, bem como possuíam maiores teores de matéria orgânica (até 26,43%) e argilas (até 50%) no sedimento, além de menores teores de fosfato na água intersticial. Os resultados sugerem forte soerguimento orgânico e alto consumo de fósforo pela grande biomassa vegetal presente nas marismas maduras. A posição baixa no entremarés das marismas criadas dificulta o desenvolvimento de seus solos (baixos teores de finos e matéria orgânica) e resulta em redoxs positivos, devido ao batimento de ondas. Soerguimento orgânico (4-5% matéria orgânica), baixos redoxs (até -428 mV) e altos teores de N e P distinguem a parte mais continental de marismas jovens na enseada eutrofizada Saco da Mangueira de suas áreas baixas no entremarés e das marismas criadas. Maiores formações de biomassas aéreas nestes pisos altos das marismas jovens é possível pela maior disponibilidade de P em condições reduzidas. O Capítulo III faz uma avaliação dos papéis dos processos autogênicos e alogênicos no desenvolvimento de uma marisma criada pelo plantio de *S. alterniflora* ao longo de 3 anos (2012-2015). O desenvolvimento da marisma progrediu de forma autogênica, apesar de oscilações interanuais sequenciais de baixa vazão e de excessiva vazão associadas, respectivamente, a eventos de moderada intensidades de La Niña e de El Niño. Os blocos de plantio foram alagados 32,9-51,5% do tempo por águas com salinidade média de 23-26 em 2012, por 61,9-69,5% do tempo por água oligohalinas (< 5) em 2014. Em 2012, o sedimento arenoso do plano entremarés possuía menos de 7% finos, acumulando até 2015 altos teores médios de argilas ($21,9 \pm 10,9\%$) e matéria orgânica ($14,7 \pm 4,6\%$). A biomassa vegetal na marisma criada cresceu até valores máximos no segundo ano após o plantio (respectivamente, aérea= 1325-1364 g/m² e subterrânea= 799-810 g/m²). As concentrações dos nutrientes intersticiais nos blocos de plantio refletiram o vigor da alteração autogênica, ocorrendo redução dos teores de fosfato na água intersticial possivelmente relacionados ao consumo pela vegetação, aeração da rizosfera pelas plantas e/ou soerguimento orgânico da marisma, com conseqüente aumento do potencial redox. O papel autogênico no desenvolvimento estrutural da marisma criada parece ser suportado pela alta disponibilidade de nutrientes nas águas superficiais e intersticiais do Saco da Mangueira.

ABSTRACT GERAL

Among the vascular aquatic plants of saline environments, coastal salt marsh plants are the most cultivated and planted by man, aiming the establishment of natural barriers against coastal erosion and the recovery of degraded coastlines. These plants are tolerant to high salt concentrations, periodic flooding and hypoxic soil conditions, and they are able to build their own environment forming biogenic structures. The efficiency of created salt marshes to reproduce structural and functional attributes of natural salt marshes is still questioned, as well as it is unclear if the autogenic process can keep salt marsh development under high intensities of allogenic forcing factors. This thesis aimed to evaluate the temporal structuring of salt marshes created by planting of the native bioengineer grasses *Spartina alterniflora* and *Spartina densiflora* in a microtidal estuary, through out the quantification of autogenic processes and their relation with the availability of N and P, environmental heterogeneity of the estuary and regional forcing factors.

In Chapter I, two experiments were conducted in a greenhouse to evaluate the effects of planting density and availability of N and P on the development of *S. alterniflora* and *S. densiflora*. Under high fertilization *S. alterniflora* plants had their leaf production stimulated and produced twice more tillers than unfertilized plants. Initial densities of 400 tillers m⁻² resulted in excessive vertical elongation of *S. alterniflora* tillers (about 100 cm in height). The fertilization with a 2N:1P ratio resulted in higher tillering for both species.

Chapter II describes the structural similarities and differences among salt marshes created by transplantation of *Spartina* grasses and nearby natural marshes for four reference sites in the estuary of Patos Lagoon (RS) sampled during the summer-autumn 2012. Twelve species of 8 angiosperm families were found in 597 sampling quadrats (0.5 x 0.5 m). All marshes revealed the presence of *S. alterniflora* at the low intertidal zone and upper marsh mature stands exhibited 3-7 species. Cluster Analysis and Correspondence Analysis, considering the correlation matrix of plant visual coverages, differentiated mature salt marshes from most of created and natural young marshes. The sampled marshes were distributed between -0.28 and +0.91 m MWL (mean water level) and were subject to flooding frequencies from 8.0 to 83.8% of the time. Mature marshes

were higher in the intertidal zone than created and natural marshes, and the former had higher levels of organic matter (up to 26.43%) and clay (up to 50%) in the sediment, as well as lower phosphate levels in the porewater. The results suggest strong organic uplift and high phosphorus consumption by the large plant biomass present in mature marshes. The low position in the intertidal of created marshes refrains the development of their soils (low contents of fine grains and organic matter) and it allows positive redox potentials due to the direct contact with the breaking of the waves. The conditions of organic uplift (4-5% organic matter), low redox potentials (up to -428 mV) and high soil contents of N and P distinguished the upper zone of natural youth marshes from lower zone of young marshes and of created marshes at the eutrophic shallow bay of Saco da Mangueira. Higher shoot biomass production at the upper zone of natural youth marshes was fostered by increased P availability due to prevalent reduced conditions. Chapter III evaluates the roles of autogenic processes and allogenic forcing factors in the first 3 years of the development of a salt marsh created by the planting of *S. alterniflora* (2012-2015). The development of the salt marsh progressed autogenic driven, despite of high interannual fluctuations of the estuary runoff related to successive events of low fresh water inflow La Niña and high fresh water inflow El Niño, both events with moderate intensities. In 2012, created marsh stands were flooded 32.9 to 51.5% of the time by waters with average salinities of 23-26, whereas in 2014 flooding increased to 61.9-69.5% of the time and water was oligohaline (<5). Marsh surface sediment collected at 2012 and 2015 showed sandy characteristics with less than 7% fine grains and high average contents of clays ($21.9 \pm 10.9\%$) and of organic matter ($14.7 \pm 4.6\%$), respectively. The plant biomass in the created marsh grew up to a peak value in the second year after planting (respectively, shoot biomass = 1325 to 1364 g m⁻² and root biomass = 799-810 g m⁻²). The nutrient content of porewater in the marsh stands was affected by the autogenic change, which led to a reduction of phosphate levels probably related to increasing consumption by the vegetation, plant ventilation of the rhizosphere and/or organic uplift of the marsh surface that can raise the soil redox potential. The protagonist role of autogenic processes in the structural development of created salt marshes seems to be fostered by a high nutrient availability in the surface water and porewater of the Saco da Mangueira.

INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura envolve o cultivo de organismos aquáticos incluindo peixes, crustáceos, moluscos e plantas aquáticas. Além do cultivo de plantas aquáticas produzir alimentos e outros bioprodutos para o homem, ele pode ser efetuado para a implementação de processos de depuração de efluentes da aquicultura (*e.g.*, biofiltros/bioreatores), fitorremediação de solos contaminados ou a criação/restauração de ambientes aquáticos vegetados (Whisenant, 2005; Costa, 2011a). Entre as plantas aquáticas vasculares de ambientes salinizados, as de marismas (banhados costeiros salinizados) são as mais cultivadas e plantadas pelo homem, particularmente com a finalidade do estabelecimento de barreiras naturais contra a erosão costeira e recuperação de áreas degradadas (Adam, 1993; Chung, 2006; Costa *et al.*, 2009).

As marismas são ecossistemas em regiões entremarés recobertos por plantas herbáceas, pequenos arbustos e arvoretas tolerantes a altas salinidades e a submersão periódica (Adam, 1990; Costa, 1998; Moraes *et al.* 2007). O ambiente é estressante, sujeito à variações de salinidade, submersão periódica, condições hipóxicas do solo, baixos potenciais hídricos e correntes de maré, sendo suportado por poucas espécies vegetais (Davy & Costa 1992; Costa *et al.*, 2003). A flora das marismas é composta por plantas com diferentes graus de tolerância ao alagamento periódico por água salgada. Desta forma, espécies menos tolerantes estão restritas a habitats mais amenos, frequentemente nas partes próximas da borda continental. As espécies pioneiras e fundadoras das marismas, além de apresentarem características morfo-anatômicas, fisiológicas e de seus ciclos de vida adaptadas ao seu crescimento na zona entremarés, são capazes de modificarem as condições físico-químicas, construindo seu próprio ambiente a partir das suas estruturas orgânicas formadas de carbono e elementos minerais no processo fotossintético, resultando que as marismas são estruturas biogênicas (Bertness, 1999; Costa, 2011a; Angelini *et al.*, 2011). Além do sequestro de carbono acumulado nas estruturas orgânicas dos caules, raízes, rizomas e detrito acumulado na superfície e solo da zona entremarés, as marismas desempenham funções vitais de sustentação trófica dos ecossistemas costeiros, estabilização da costa e elo dos ciclos biogeoquímicos de vários elementos (Angelini *et al.*, 2011).

1. Caracterização ambiental e desenvolvimento das marismas

Marismas são localizadas em ambientes abrigados de fortes correntes e ondas, onde as águas são mais calmas e pode ocorrer a deposição de sedimentos finos (Frey & Basan, 1978; Long & Mason, 1983). As folhas e hastes das plantas das marismas reduzem a velocidade do fluxo das correntes e favorecem a deposição do material em suspensão na água de alagamento, provenientes da drenagem continental ou de áreas costeiras adjacentes erodidas (Davy & Costa 1992). A cobertura vegetal e as densas redes de rizomas e raízes das plantas dominantes previnem a ação remobilizadora das ondas sobre os sedimentos, impedindo a erosão das margens (Chung, 1993; Chung *et al.* 2004).

Marismas em todo o mundo apresentam estruturas e funções similares; as espécies dominantes podem diferir de uma área a outra mas preenchem similares nichos e possuem semelhantes adaptações ao ambiente de marisma (Frey & Basan, 1978; Adam 1990; Broome & Craft, 2000). Comunidades vegetais de marismas apresentam a sua distribuição em forma de cinturões paralelos à costa, com as espécies mais tolerantes à maior salinidade e alagamento nos pisos mais baixos e as espécies menos tolerantes colonizando os pisos mais altos (Costa *et al.*, 2003). Os pisos entremarés baixos são definidos primariamente por critérios geomórficos ou fisiográficos enquanto que os pisos entremarés altos são definidos principalmente por critérios florísticos (Frey & Basan, 1978), portanto a elevação topográfica influencia diretamente na composição florística das marismas, onde a diversidade vegetal também aumenta com a diminuição do stress salino (Adam, 1990; Davy & Costa, 1992; Azevedo, 2000).

Gramíneas do gênero *Spartina* são tolerantes à diferentes níveis de salinidade e são hábeis colonizadoras de planos de lama das marismas baixas (Costa & Marangoni, 2010; Montmayor *et al.*, 2013). *Spartina alterniflora* suporta níveis altos de alagamento e salinidades como da água do mar no piso inferior (Broome & Craft, 2000); avança na ocupação horizontal da área, através da rápida extensão dos seus rizomas enquanto que *Spartina densiflora* Brong cobre pequenas áreas formando tufos extremamente densos no piso acima do nível entremarés médio (Costa & Marangoni 1997; Azevedo, 2000), não tolerando o alagamento frequente. O aumento do nível do piso entremarés, através

da deposição dos sedimentos finos é uma medida promissora para vencer o desafio da elevação do nível do mar. É muito difícil ou mesmo impossível elevar a superfície terrestre uma vez que a formação da terra está completa, mas é natural que a superfície das marismas se elevem quando *Spartina* está presente. Plantações de *Spartina* devem ser uma importante medida para encarar o desafio do aumento do nível do mar em regiões costeiras da Ásia (Chung, 1990b, 1991, 1992, 1993) e da Europa (Mossman *et al.*, 2012).

O acúmulo de sedimentos, sucessão das plantas e a resultante expansão das marismas, faz com que algumas partes da marisma sejam mais velhas e melhor desenvolvidas do que outras partes, isto sendo visível em dois pisos entremarés alto e baixo. Marismas baixas são mais jovens, com menor topografia e mais sujeitas às condições estuarinas ou marinhas adjacentes, sendo mais inundadas durante o ano. Marismas altas são mais velhas e ocupam posições topográficas mais altas sendo mais influenciadas por condições terrestres. São pouco inundadas e a maior parte do tempo permanecem expostas ao ar, sendo áreas menos estressantes. Entretanto, a fronteira entre estes pisos ou o seu relacionamento com as marés deve diferir de um local a outro, parecendo ser a regularidade mareal e a composição do substrato os fatores que separam estes dois pisos (Frey & Basan, 1978; Broome & Craft, 2000). A maturação de uma marisma é um processo que reflete o estágio de sucessão vegetal, animal e pelo tamanho, posição e diferenciação da marisma dentro de um complexo costeiro. Em termos geológicos, a maturação de uma marisma é um sub-produto de progradação de sedimentos simples onde a marisma alta tem substituído a marisma baixa por ambas sucessões verticais e laterais (Frey & Basan, 1978; Costa & Davy, 1992).

Marismas mais jovens são aquelas onde os ambientes de marismas baixos constituem a maior parte da área total. Em marismas maduras, as áreas de marismas altas e baixas são aproximadamente iguais. Em marismas velhas, o ambiente de marismas altas compreende a maior parte total da área, com maior acreção (Frey & Basan, 1978). Marismas velhas compostas por *S. alterniflora*, como uma marisma de 490 anos em Boston, Massachusetts e marismas antigas em Barataria Bay na Louisiana (EUA), apresentaram respectivamente taxas de acreção de 61 cm e 45 cm, ambas no período de 100 anos (Chung *et al.*, 2004).

2. Funções ecológicas das marismas e sua criação pelo Homem

As marismas estão dentre os ecossistemas mais produtivos do mundo (Broome & Craft, 2000) com destaque para a elevada produção primária (Gaona *et al.*, 1996; Peixoto & Costa, 2004; Cunha *et al.*, 2005; Marangoni & Costa, 2010). Marismas são também ambientes de ciclagem biogeoquímica ativa. O desenvolvimento de uma sólida camada subterrânea de rizomas e raízes mais a inundação mareal torna este ambiente anaeróbico, criando condições químicas reduzidas no solo. Estas baixas condições de redox fazem praticamente impossível a sobrevivência dos microorganismos aeróbios do solo e assim, na ausência do oxigênio no solo a degradação biológica da biomassa subterrânea é lenta, realizada por organismos anaeróbios, sendo a consequência direta o acúmulo de matéria orgânica (Havens *et al.*, 1995; Perry *et al.*, 2001). Mesmo ocupando menos do que 2% da superfície terrestre, as terras úmidas contém aproximadamente 10 % do total de carbono orgânico subterrâneo (Havens *et al.*, 1995). Ao fixarem carbono orgânico e outros nutrientes através da acreção de biomassa e sedimentação, marismas contribuem para o suprimento de matéria orgânica que fornecerá nutrientes para a comunidade de marismas e ainda exportar para dar apoio à alta produtividade dos estuários e águas adjacentes (Broome & Craft, 2000).

Além de funcionarem como hábitat e refúgio, as marismas fornecem uma grande quantidade de locais de abrigo, crescimento e reprodução para animais terrestres (insetos, aves e pequenos mamíferos), de vida anfíbia (caranguejos, caramujos) e aquáticos (poliquetos, camarões, peixes, etc.)(Costa *et al.*, 1997; Perry *et al.*, 2001). Marismas diminuem a energia das ondas, portanto fornecem uma proteção contra a erosão da costa (Perry *et al.*, 2001; Chung *et al.*, 2004; Mendonça & Costa, 2008; Costa, 2011a) além de que as margens cobertas por marismas são as menos erodidas (Perry *et al.*, 2001). Também reduzem os efeitos devastadores de inundação após chuvas torrenciais ou tempestades, aumento do nível do mar e furacões em áreas costeiras (Chung, 1993; Castillo *et al.*, 2008; Broome & Craft, 2000). Marismas contribuem para mitigar os efeitos das mudanças climáticas quando planos de lama não vegetados passam a ser vegetados (Castillo *et al.*, 2008).

Marismas tem sido criadas através do plantio de espécies fundadoras

bioengenheiras para gerar habitats e áreas de alimentação para aves migratórias e domésticas (Chung, 1993; Craft *et al.*, 2003), para extrair ou estabilizar poluentes (Castillo *et al.*, 2008), para estabilizar material dragado (Costa *et al.*, 2012), na redução de aluvião trazidos pelos rios, dessalinização de solos, adubo verde, alimentação e pasto para gado, produção de papel e combustível (Chung, 1993). Em aquicultura as marismas são empregadas desde a contenção da erosão em taludes de viveiros de aquicultura à rações para peixes. Estas rações de menor custo resultam em poucas doenças e crescimento mais rápido dos animais. Um extrato da gramínea *Spartina alterniflora* Loisel. também chamado de “líquido biomineral” tem sido usado como aditivo para o alimento fresco para acelerar o crescimento, aumentar a taxa de sobrevivência e diminuir o coeficiente alimentar de peixes cultivados como tilápias e carpas (Chung, 1993).

Mundialmente as marismas tem sido perdidas por ação antropogênica (Craft *et al.*, 1991; Chung *et al.*, 2004; Castillo *et al.*, 2008; Marangoni & Costa 2009) ou causas naturais (Marangoni & Costa, 2009; Costa *et al.*, 2009). O aumento da população e a expansão urbana em cidades costeiras tem contribuído para esse quadro (Craft *et al.*, 1991; Havens *et al.*, 1995; Seeliger & Costa, 1997), com a destruição das marismas e eutrofização (Bertness, 1999; Curado *et al.*, 2013). Diante da necessidade de reverter e de mitigar essa situação, marismas tem sido criadas e restauradas (Craft *et al.*, 2003; Chung, 2006; Costa, 2011). Uma vez que as marismas são fisicamente dinâmicas e podem responder rapidamente a trocas ambientais, a vegetação emergente tem sido estabelecida com sucesso em ambientes salinos, salobros e dulcícolas para criar ou restaurar os habitats úmidos (Craft *et al.*, 1991). Nos anos 70, houve um aumento da percepção das funções e valores deste sistema e isso resultou em leis federais e estaduais protegendo as terras úmidas (Havens *et al.*, 1995; Costa & Marangoni, 2010). A força das plantações de marisma está centrada no seu processo construtivo de ecossistemas, sejam estes em condições normais ou nos ambientes danificados (Chung, 1993). Por exemplo, na China, 410 km da costa de Jiangsu foram plantadas com *Spartina alterniflora*, inicialmente trazida da América do Norte, para mitigar a ação de violentas ondas laterais dos canais de marés sobre a costa, reduzindo a altura das ondas (Chung *et al.*, 2004); utilizando a capacidade bioengenheira das marismas para reduzir

os efeitos prejudiciais desta perturbação natural.

A construção de marismas não é uma atividade recente. Marismas constituídas por *Spartina* tem sido produzidas desde o século passado em Sheperdine, Reino Unido (1910); Virginia, EUA (1928) (Perry *et al.*, 2001); sudeste da Dinamarca e China (à partir da década de 1960), Victoria, Australia (1973), costa Atlântica dos EUA (1980-82)(Perry *et al.*, 2001). A restauração de habitats tem sido a prática mais comum de implantação de marismas (Broome & Craft, 2000). Marismas também são construídas sobre material dragado e depositado (Havens *et al.*, 1995; Costa *et al.*, 2012).

As plantas mais utilizadas na criação de marismas tem sido as gramíneas do gênero *Spartina* (Castillo *et al.*, 2008), especialmente a espécie *S. alterniflora* (Perry *et al.*, 2001; Chung *et al.*, 2004; Moraes *et al.*, 2007), além de *S. cynosuroides*, *S. patens* e *S. foliosa* (Craft, 1991; Chung, 1993; Broome & Craft, 2000). Nas marismas europeias são utilizadas as espécies *S. maritima* e *S. anglica*, sendo esta última também usada na China (Castillo *et al.*, 2008, Broome *et al.*, 2000). Outras halófitas também são adotadas para este fim, como as gramíneas *Distichlis spicata* (Havens *et al.*, 1995) e *Puccinellia maritima* (Chung, 1993) assim como a juncacea *Juncus roemerianus*. A semeadura direta é possível apenas em áreas bem protegidas das ondas (Broome & Craft, 2000). Uma alternativa que tem menor impacto é coletar sementes de planos vegetados naturais e germiná-las em potes ou canteiros. Mais frequentemente, propágulos vegetativos das plantas são utilizados em projetos de restauração e criação de marismas. As plantas devem ser escavadas manualmente dos estandes nativos, tendo cuidado em impactar minimamente o ambiente. É preferível obter este material em marismas naturais próximas da área de plantio (Broome & Craft, 2000; Perry *et al.*, 2001), para evitar a introdução de ecotipos que podem não estar adaptados às condições locais. A produção de mudas de plantas de marismas, principalmente por propagação vegetativa, é realizada em viveiros e estufas agrícolas (Craft *et al.*, 1991; Chung, 1993; Havens *et al.*, 1995; Moraes *et al.*, 2007; Mendonça & Costa, 2008). Nas marismas, gramas *Spartina* crescem em densidades de até 5000 hastes m⁻² e suas raízes tendem a se concentrar no sedimento superficial, devido à anoxia em camadas mais profundas (Nieva *et al.*, 2001; Costa *et al.*, 2003). Logo, estas plantas apresentam um grande potencial de produção de mudas em recipientes, mas poucos estudos avaliaram esta possibilidade fitotécnica

(Costa *et al.*, 2011a; 2011b) e faltam quantificações do efeito da densidade de plantio sobre a formação de perfilhos (clones vegetativos).

O plantio destas mudas é efetuado em planos de lama entremarés vazios e expostos ou em áreas costeiras mais altas que podem ser convertidas em marismas através da escavação e o nivelamento do terreno para atingir uma elevação entremarés, bem como a confecção de canais de inundação com água salinizada (Broome *et al.*, 1988; Havens *et al.*, 1995). Os principais fatores a serem considerados no plantio seriam: elevação e espécies vegetais apropriadas, proteção contra ondas e correntes, adequação da disponibilidade de nutrientes, mudas vigorosas, espaçamento de plantio adequado, monitoramento e a manutenção da área plantada. *Spartina alterniflora* requer muito nitrogênio (N) em relação ao fósforo (P), e a razão N:P no tecido, sob condições de mínima necessidade para o crescimento, é de 16N:1P (Smart & Barko, 1980). Entretanto, em planos de lama entremarés com solos saturados hipóxicos frequentemente possuem razão N:P tão baixas quanto 2,5N:1P (Marangoni, 2001; Mendonça & Costa, 2008). Broome *et al.* (1983) demonstraram que a disponibilidade de P rapidamente se torna limitante para *S. alterniflora*, a medida que aumenta a quantidade de N adicionada a plantios. Vários autores (Marangoni, 2001; Costa *et al.*, 2003; Mendonça & Costa, 2008) confirmam que a disponibilidade de P no sedimento pode influenciar tanto a ocupação dos solos pelos rizomas como a formação de perfilhos por *Spartina*.

3. O sucesso da criação de marismas artificiais

No século 21, tem sido realizadas comparações da funcionalidade de novas áreas de marismas criadas artificialmente com sistemas naturais, para orientar projetos de realinhamento da costa em relação ao crescente nível médio relativo do mar e avaliar a resiliência destes ambientes as mudanças climáticas em andamento (Adam, 2002; Darnell & Smith, 2002; Whisenant, 2005; Mossman *et al.*, 2012). Uma marisma criada deve reproduzir com sucesso os atributos estruturais e funcionais de marismas naturais, bem como se estabelecer como um ecossistema autossustentável (Broome & Craft, 2000). As técnicas para criação de marismas têm sido desenvolvidas e aplicadas em

muitos locais com variados graus de sucesso. A definição de sucesso é controversa. Alguns definem sucesso como a reprodução de todos os aspectos de um sistema natural, enquanto que outros consideram que a reprodução de algumas funções em níveis aceitáveis seria o suficiente para considerar o processo bem sucedido (Broome & Craft, 2000).

As questões de se e em quanto tempo uma marisma criada atinge o mesmo nível de funcionalidade das marismas naturais não estão resolvidas. A maior parte dos estudos realizados enfatizam a estrutura vegetativa das marismas e incluem uma miríade de funções adicionais consideradas de valor para os sistemas de marismas (Havens *et al.*, 1995; Mossman *et al.*, 2012). Alguns trabalhos apontam que podem levar de 4 a 25 anos para que um sedimento de uma marisma criada tenha o conteúdo de carbono semelhante à marisma natural (Seneca *et al.*, 1976; Havens *et al.*, 1995; Darnell & Smith, 2002). Craft *et al.* (1988) encontrou ao longo da costa da Carolina do Norte níveis de matéria orgânica no sedimento menores em marismas criadas (com menos de 20 anos) do que em marismas naturais. Frequentemente, marismas construídas são desprovidas de matéria orgânica em seus sedimentos, especialmente nos estágios iniciais de desenvolvimento (Havens *et al.*, 1995). A quantidade de carbono na superfície (biomassa aérea) deve tornar-se semelhante às marismas naturais à medida que a marisma criada amadurece, mas o conteúdo de carbono na rizosfera (biomassa subterrânea) requer aparentemente uma quantidade de tempo maior para atingir números semelhantes aos sistemas naturais (Craft *et al.*, 2003). Desta maneira, a biomassa subterrânea é útil para determinar o grau em que marismas criadas atingem a equivalência funcional das marismas naturais. O aparecimento da comunidade bentônica também evidencia o processo de amadurecimento da marisma criada (Havens *et al.*, 1995).

Marismas criadas são comunidades jovens que dependem de fontes externas de N e P para sustentar sua produtividade e removem N (nitrogênio principalmente como nitrato ou nitrogênio amoniacal) e P (como fosfato) do sedimento e água intersticial. A reciclagem interna dos nutrientes dentro da comunidade de marisma vem a se tornar importante quando os solos tornam-se quimicamente reduzidos e desenvolvem reservatório de matéria orgânica (Broome & Craft, 2000). O desenvolvimento de

condições reduzidas de solos deve levar alguns anos para ser atingido em marismas restauradas e criadas sobre material dragado e mesmo mais tempo em marismas estabelecidas em áreas de solos altamente oxidados (Broome & Craft, 2000).

No Rio Grande do Sul, no estuário da Lagoa dos Patos (32° S, 52° W), marismas tem sido criadas como prática de manejo para mitigar perdas cumulativas das marismas devido a expansão urbana e portuária, a deposição de resíduos sólidos e a erosão das margens (Mendonça & Costa, 2008; Costa *et al.*, 2009; Marangoni & Costa, 2009; Costa, 2011a, 2011b, Costa *et al.* 2012). No entanto, a falta de avaliações e de monitoramento destas marismas geram incertezas; não se sabe se as marismas criadas conseguem reproduzir a estrutura e as funções das marismas naturais. Estas informações são muito importantes, ainda mais em estuários micromareais, como o do Estuário da Lagoa dos Patos, onde pulsos hidrológicos são forçantes das condições de nutrientes dissolvidos, salinidade e nível da água estuarina (Möller & Fernandes, 2010; Marangoni & Costa, 2012; Odebrecht *et al.*, 2013) e também interferir no desenvolvimento e na sustentabilidade das marismas criadas (Costa *et al.*, 2003). A intensa instabilidade de alguns compostos químicos e a dinâmica da coluna d'água, são afetados por fatores meteorológicos, como chuvas e ventos que influenciam a composição da água alterando a salinidade e a turbidez (Almeida *et al.*, 1993; Baumgarten *et al.*, 1995; Baumgarten *et al.*, 2001). A salinidade por sua vez, influencia nas variações de concentrações de nutrientes na água intersticial nos primeiros 8 cm da coluna sedimentar, podendo diluir as concentrações de amônio e fosfato (Baumgarten *et al.*, 2001).

4. Estrutura da tese

De forma a esclarecer se marismas criadas reproduzem a estrutura e funções de marismas naturais, o papel da disponibilidade dos nutrientes e dos pulsos hidrológicos sobre o desenvolvimento das marismas criadas, foram efetuados experimentos em estufa agrícola, avaliações estruturais de marismas criadas em relação a marismas naturais de referência e o monitoramento por 3 anos de processos alogênicos e autogênicos atuando sobre uma marisma criada. No Capítulo I, em um ambiente de casa de vegetação, foi avaliado o papel da disponibilidade dos nutrientes N e P sobre o

estabelecimento, a produção de perfilhos e o desenvolvimento de mudas das gramíneas *Spartina alterniflora* e *Spartina densiflora* em recipientes, além das interações de diferentes densidades de cultivo com esta disponibilidade de nutrientes. Ambas espécies são bioengenhieras de marismas na costa brasileira, podem coexistir em planos entremarés arenolodosos e vem sendo utilizadas em projetos de fitorremediação na zona costeira (Mendonça & Costa, 2008; Costa, 2011a; 2011b; Marangoni & Costa, 2012). Nas marismas, estas gramíneas podem se desenvolver em condições nutricionais muito variáveis de N e P, cujas disponibilidades são influenciadas pelo grau de oxidação do sedimento e pelas demandas das plantas (Emery *et al.*, 2001; Mendonça & Costa, 2008). Os impactos destas limitações nutricionais sobre o crescimento e ocupação espacial por estas plantas são discutidos.

O Capítulo II, conduzido durante os meses de fevereiro a julho de 2012, descreve as similaridades e diferenças nas características estruturais, no pico de crescimento do verão-outono, de marismas criadas pelo plantio de gramíneas bioengenhieras e marismas naturais de referência no estuário da Lagoa do Patos. Realizaram-se comparações das condições edáficas, de parâmetros físico-químicos e nutrientes intersticiais, da composição da cobertura vegetal e da formação de biomassa pelas plantas, tanto aérea como subterrânea. As marismas são espacialmente heterogêneas e fisicamente dinâmicas, respondendo rapidamente a trocas ambientais. Este estudo visou avaliar a efetividade das marismas criadas em localidades sujeitas a diferentes graus de contaminação, por efluentes domésticos e industriais, de atingir equivalência a marismas naturais em relação a atributos ecológicos.

O Capítulo III faz uma avaliação dos papéis dos processos autogênicos e alogênicos no desenvolvimento inicial de uma marisma criada pelo plantio de *S. alterniflora*, em um ambiente estuarino submetido a alta variabilidade interanual de suas condições hidrológicas (que atua como forçante alogênico). No estuário da Lagoa dos Patos, as descargas dos seus rios tributários podem ser usadas como estimativa de descarga continental. O rio Jacuí é o tributário mais importante da Lagoa dos Patos, contribuindo com 35,4% da média anual de descargas combinadas. Marangoni & Costa (2012) demonstraram que entre 1995 e 2005, a descarga sazonal do rio Jacuí foi um bom preditor de ambos níveis sazonais de água estuarina e frequências de inundações de

áreas transplantadas na Ilha da Pólvora. São apresentados dados coletados ao longo de um período de 3 anos (2012-2015), incluindo condições edáficas, parâmetros físico-químicos e nutrientes intersticiais, além da sobrevivência das mudas, adensamento de hastes e a formação de biomassa aérea e subterrânea. Os resultados são comparados com os de outros plantios no Brasil e em outras partes do mundo, sendo destacada a importância da disponibilidade de nutrientes para o estabelecimento de um papel autogênico protagonista da estruturação das marismas em ambientes sujeitos a forçantes alogênicos.

5. Hipóteses testadas

As seguintes hipóteses foram testadas ao longo do desenvolvimento desta tese:

- A fertilização com baixas razões N:P, observadas em sedimentos saturados entremarés (e.g., 2,5N:1P), podem estimular a produção de mudas em *S. alterniflora* e *S. densiflora* por perfilhamento (Capítulo I);
- O plantio de *S. alterniflora* e *S. densiflora* em baixas densidades resulta em maior perfilhamento e desenvolvimento das mudas (Capítulo I);
- As marismas criadas pelo plantio de *S. alterniflora* e *S. densiflora* em um estuário micromareal reproduzem eficientemente as características estruturais edáficas, físico-químicas da água intersticial e de formação de biomassa das marismas naturalmente colonizadas com idades equivalentes (Capítulo II);
- O desenvolvimento estrutural de marismas criadas, jovens e marismas maduras (com pelo menos 50 anos de estabelecimento) é maior em termos de enriquecimento de sedimentos finos, matéria orgânica particulada e quantidade de biomassa aérea e subterrânea das plantas em localidades estuarinas com alto grau de contaminação por nutrientes do que em áreas não eutrofizadas (Capítulo II).
- O desenvolvimento de uma marisma criada em um estuário micromareal fortemente influenciado por variabilidade interanual de sua hidrologia é determinado por um papel protagonista autogênico (ação bioengenheira da planta fundadora) (Capítulo III).

6. Objetivo principal

Esta tese visou avaliar a estruturação temporal de marismas criadas através do plantio das gramíneas bioengenhieras *S. alterniflora* e *S. densiflora* em um estuário micromareal, através da avaliação do processo autogênico e seu relacionamento com a disponibilidade de N e P, heterogeneidade ambiental estuarina e forçantes alogênicos regionais.

6.1. Objetivos específicos

- Verificar o papel da disponibilidade de N e P sobre o crescimento de *S. alterniflora* e *S. densiflora* em um experimento em casa de vegetação e de *S. alterniflora* em diferentes marismas estuarinas onde foi plantada.
- Avaliar as similaridades e diferenças na cobertura vegetal de marismas criadas pelo plantio da grama bioengenhiera *S. alterniflora* e marismas naturais de referência no estuário da Lagoa do Patos (RS);
- Comparar as condições edáficas, a água intersticial e a formação de biomassa vegetal de marismas criadas, jovens e maduras em diferentes localidades do estuário;
- Avaliar a colonização e o desenvolvimento de uma marisma criada ao longo de 3 anos, a partir do plantio de *S. alterniflora* através da quantificação periódica da sobrevivência das mudas, das condições edáficas, da ocupação do solo por raízes e rizomas, da formação de biomassa aérea e subterrânea.

BIBLIOGRAFIA

- ABREU, P. C.; COSTA, C.S.B.; BEMVENUTI, C.E.; ODEBRECHT, C.;
- GRANELLI, W. & ANÉSIO, A.M. 2006. Eutrophication Processes and Trophic interactions in a Shallow Estuary: Preliminary Results Based on Stable Isotope Analysis (d13C and d15N). *Estuaries and Coasts*, **29** (2): pp. 277-285.
- ADAM, P. 1990. *Saltmarsh Ecology*. Cambridge University Press. New York. USA 461p.

- ADAM, P. 2002. Saltmarshes in a time of change. *Environment Conservation*, **29** (1): pp. 39-61
- ALMEIDA, M.T., DE ALBERNAZ, BAUMGARTEN, M.G.Z. & RODRIGUES, R.M. 1993. Identificação das Possíveis Fontes de Contaminação das Águas que Margeiam a Cidade do Rio Grande - RS. *Documentos Técnicos*, n.06, Rio Grande: FURG, 30 p.
- ANGELINI, C.; ALTIERI, A.H.; SILLIMAN, B.R. & BERTNESS, M.D. 2011. Interactions among Foundation Species and their Consequences for Community. *BioScience*, **61** (10): pp.782-789.
- AZEVEDO, A.M.G. 2000. *Hábitats, Associações Vegetais e Fenologia das Plantas das Marismas da Ilha da Pólvora, Estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil)*. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande-RS, 121p.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; NIENCHESKI, L.F.H.; KUROSHIMA, K.N. 1995. Qualidade das águas estuarinas que margeiam o município do Rio Grande (RS-Brasil): nutrientes e detergente dissolvidos. *Atlântica*, v. 17, n. 1, p. 17-34, 1995. Grande-RS, 121p.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; NIENCHESKI, L. F. H. & VEECK, L. 2001. Nutrientes na coluna da água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica (RS- Brasil). *Atlântica*, Rio Grande. **23**: pp. 101-116
- BERTNESS, M.D. 1999. *The ecology of Atlantic shorelines*. Sinauer associates, Inc. Massachusetts, 417p.
- BROOME, S.W & CRAFT, C.B. 2000. Tidal Salt Marsh Restoration, Creation, and Mitigation, chapter 37. *Agronomy*, 42 p.
- BROOME, S. W.; SENECA, E. D. & WOODHOUSE, W. W. JR. 1988. Tidal salt marsh restoration. *Aquatic Botany* **32**: pp. 1–22.
- CASTILLO, J. M.; LEIRA-DOCE, P.; RUBIO-CASAL, A. E. & FIGUEIROA, M. E. 2008. Spatial and temporal variations in aboveground and belowground biomass of *Spartina maritima* (small cordgrass) in created and natural marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **78**, 819–826.

- CHUNG, C. H. 1990. Twenty-five years of introduced *Spartina anglica* in China. *In*: Gray, A.J., Benham, P.E.M. (Eds.), *Spartina Anglica: A Research Review*, vol.2. Institute of Terrestrial Ecology Research Publication, HMSO, London, pp. 72–74.
- CHUNG, C. H. 1991. The role of ecological engineering with *Spartina* plantations for coastal protection in China. *In*: Special Issue on the Causes and Countermeasures of Natural Disaster. J. Nanjing Univ., pp. 63-69.
- CHUNG, C. H. 1992. Ecological Engineering with *Spartina* plantations for reducing coastal erosion in China. INTECOL'S IV International Wetlands Conference, Columbus, OH. Elsevier, Amsterdam (in press).
- CHUNG, C. 1993. Thirty years of ecological engineering with *Spartina* plantations in China. *Ecological Engineering*, **2**: pp. 261-289.
- CHUNG, C. 2006. Forty years of ecological engineering with *Spartina plantations* in China. *Ecological engineering* **27**: pp. 49–57.
- CHUNG, C. H.; ZHUO, R. Z. & XU, G. W. 2004. Creation of *Spartina* plantations for reclaiming Dongtai, China, tidal flats and offshore sands. *Ecological Engineering*, **23**: pp. 135–150
- COSTA, C.S.B. 1998. Marismas irregularmente alagadas. *In*: U. SEELIGER; C. ODEBRECHT; J.P.CASTELLO (eds.), *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo Sul do Brasil*. Rio Grande, Editora Ecoscientia, pp. 82-87.
- COSTA, C.S.B. 2011a. Restoration of coastal salt marshes in Brazil using native salt marsh plants. *In*: *Restoration Ecology*. S. Greipsson (Editor). Sudbury (MA. U.S.A.): Jones and Bartlett Publishers, pp. 333-338.
- COSTA, C.S.B. 2011b. Projeto de recuperação de marismas. Capítulo 5.4. *In*: *Manejo integrado do estuário da Lagoa dos Patos : uma experiência de gerenciamento costeiro no sul do Brasil*. P.R. A.T. & M.L.Asmus (Editores). Rio Grande (RS): Editora da FURG, pp. 50-60.
- COSTA, C.S.B. & MARANGONI, J.C. 1997. Criação de marismas com espécies nativas: experimento piloto no sul do Brasil. *In*: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIENCIAS DO MAR, 7, Santos, *Anais*, **1**: pp. 200-201.

- COSTA, C.S.B. & MARANGONI, J.C. 2010. As comunidades das marismas *In: O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*, Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Editores). Rio Grande:FURG, pp. 125-133.
- COSTA, C.S.B.; MARANGONI, J.C. & AZEVEDO, A.M.G. 2003. Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *Journal of Ecology*, **91** (6): pp. 951-965.
- COSTA, C.S.B.; IRIBARNE, O.O. & FARINA, J.M. 2009. Human impacts and threats to the conservation of South American salt marshes. In: SILLIMAN, B. R.; GROSHOLTZ, T.; BERTNESS, M. D. (Ed.). *Salt Marshes under Global Siege*. Berkeley: University of California Press.
- COSTA, C.S.B.; MENDONÇA, P.T. & MARANGONI, J.C. 2012. Criação de uma marisma em enseada estuarina no sul do Brasil utilizando sedimento dragado. *In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESCO Associação Brasileira de Engenharia Ambiental – ASBEA Criciúma (SC)* pp. 960-969.
- CRAFT, C. B.; BROOME, S. W. & SENECA, E. D. 1988. Nitrogen, phosphorus and organic carbon pools in natural and transplanted marsh soils. *Estuaries* **11**: pp. 272–280.
- CRAFT, C. B.; SENECA, E. D. & BROOME, S. W. 1991. Porewater chemistry of natural and created marsh soils. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **152**: pp. 187– 200.
- CRAFT, C. B.; READER, J. M.; SACCO, J. N. & BROOME, S. W. 1999. Twenty-five years of ecosystem development of constructed *Spartina alterniflora* (Loisel) marshes. *Ecological Applications* **9**: pp. 1405–1419.
- CRAFT, C.; MEGONIGAL, P.; BROOME, S.; STEVENSON, J.; FREESE, R.; CORNELL, J.; ZHENG, L & SACCO, J. 2003. The pace of ecosystem development of constructed *Spartina alterniflora* marshes. *Ecological Applications*, **13** (5), 2003, pp. 1417–1432.
- CUNHA, S.R.; ASMUS, M. & COSTA, C.S.B. 2005. Production dynamics of *Spartina alterniflora* salt marshes in the estuary of the Patos Lagoon (RS, Brazil): A simulation model approach. *Brazilian Journal of Aquatic Science and*

- Technology*, **9** (2): pp. 75-85.
- CURADO, G.; RUBIO-CASAL, A. E.; FIGUEIROA, E.; GREWELL, B.; CASTILLO, J. M. 2013. Native plant restoration combats environmental change: development of carbon and nitrogen sequestration capacity using small cordgrass in European salt marshes. *Environ Monit Assess* **185**: pp. 8439–8449
- DARNELL, T. & SMITH, E.H. 2002. Recommended Design for More Accurate Duplication of Natural Conditions in Salt Marsh Creation. *Environmental Management* **29** (6): pp. 813–823.
- DAVY, A.J. & COSTA, C.S.B. 1992. Development and organization of salt marsh communities. *In*: Seeliger, U. (ed.). Coastal Plant Communities of Latin America. New York, Academic Press, pp. 157-178.
- FREY, R.W. & BASAN, P.B. 1978. Coastal salt marshes *In*: Davis, R. A. Jr. (ed.). Coastal sedimentary environments. New York, Springer-Verlag
- GAONA, C.A.; PEIXOTO, A.R. & COSTA, C.S.B. 1996. Produção primária de uma marisma raramente alagada dominada por *Juncus effusus* L., no extremo sul do Brasil. *Atlântica*, **18**: pp. 43-54.
- HAVENS, K. J. L.; VARNELL, L. M. & BRADSHAW, J. G. 1995. An assessment of ecological conditions in a constructed tidal marsh and two natural reference tidal marshes in coastal Virginia. *Ecological Engineering* **4**: pp. 117–141.
- LONG, S. P. & MASON, C. F. 1983. Saltmarsh Ecology. Glasgow. Blackie & Son Ltd. 160 p.
- MARANGONI, J.C. & COSTA, C.S.B. 2009. Natural and anthropogenic effects on salt marsh over five decades in the Patos Lagoon (Southern Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography* **57** (4): pp. 345-350.
- MONTMAYOR, D. I.; CANEPUCCIA, A. D.; PASCUAL, J. & IRIBARNE, O. O. 2013. Aboveground Biomass Patterns of Dominant *Spartina* Species and Their Relationship with Selected Abiotic Variables in Argentinean SWAtlantic Marshes. *Estuaries and Coasts*, DOI 10.1007/s12237-013-9688-y.
- MORAES, G. P.; MENDONÇA, P. P. & COSTA, C.S.B. 2007. Criação de marismas no sul do Brasil através do plantio da grama *Spartina alterniflora*. *In*: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu - MG.

- MOSSMAN, H.; BROWN, M.; DAVY, A. & GRANT, A. 2012. Constraints on salt marsh development following managed coastal realignment: dispersal limitation or environmental tolerance? *Restoration Ecology*, School of Plant Biology, University of Western Australia, Crawley, WA 6009 Australia, 32p.
- PEIXOTO, A.R. & COSTA, C.S.B. 2004. Produção primária líquida aérea de *Spartina densiflora* Brong. (Poacea) no estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheríngia, Ser. Bot.*, **59** (1): pp. 27-34.
- PERRY, J. E.; BARNARD Jr., T. A. BRADSHAW, J. G.; FRIEDRICHS, C. T.; HAVENS, K. J.; MASON, P. A.; PRIEST III, W. I. & SILBERHORN, G. M. 2001. Creating tidal salt marshes in the Chesapeake Bay. *Journal of Coastal Research*, **27**: pp. 170-191.
- SEELIGER, U., COSTA, C.S.B. & ABREU, P.C. 1997. Energy flow and habitats in the Patos Lagoon estuary. *Subtropical Convergence Environments: the Coast and Sea in the Warm- Temperate Southwestern Atlantic* (eds U. Seeliger, C. Odebrecht & J.P. Castello), pp. 65–70. Springer-Verlag, Berlin.
- SENECA, E. D.; BROOME, S. W.; WOODHOUSE Jr.; CAMMEN, L. M. & LYON III, J. T. 1976. Establishing *Spartina alterniflora* marsh in North Carolina. *Environ. Conserv.*, **3**, pp. 185-188.
- WHISENANT, S.G. 2005. First Steps in erosion control. *In: Forest Restoration in Landscapes*, Springer, Part D, pp. 350-356.

CAPÍTULO I

Efeitos da densidade de plantio e da adição de nutrientes na produção de mudas de gramíneas halófitas em recipientes

Trabalho aceito pela Revista Ceres, com o formato de acordo com as normas desta revista.

Efeitos da densidade de plantio e da adição de nutrientes na produção de mudas de gramíneas halófitas em recipientes

RESUMO

As gramíneas halófitas *Spartina alterniflora* e *Spartina densiflora* são espécies bioengenheiras, que podem ser utilizadas para mitigação de áreas degradadas de marismas e franjas em frente à manguezais, para o controle da erosão costeira e na estabilização de dragado depositado em regiões estuarinas e costeiras. Os efeitos da densidade de plantio e da adubação com nitrogênio (N) e fósforo (P) sobre mudas de propagação vegetativa destas duas espécies, crescendo em bandejas (0,15 m²; 7500 cm³), foram avaliados em estufa agrícola não climatizada em dois experimentos realizados nos anos de 2009 e 2011. Em 2009, apenas *S. alterniflora* foi cultivada em 2 densidades de plantios (133 e 400 mudas m⁻²) e 2 níveis de adição de nutrientes (sem adubação; e com adição total de 50,8 gN m⁻² e 16 gP m⁻²). Em 2011, bandejas com 80 mudas m⁻² de ambas as espécies foram adubadas com razões 2N:1P, 6N:1P, 10N:1P e 14N:1P (adição total de 115 gN m⁻²). A adubação com NP estimulou formação foliar e, em recipientes fertilizados, o número médio de hastes de *S. alterniflora* após 80 dias foi o dobro do observado nos recipientes controle. Entretanto, densidades iniciais de 400 ou mais hastes m⁻² nas bandejas resultaram em alongamento vertical excessivo das hastes de *S. alterniflora* (cerca de 100 cm de altura), o que prejudica o manuseio e o plantio. A adubação com razão 2N:1P resultou em melhor perfilhamento de ambas espécies.

Palavras chave: *Spartina* spp., fertilização, perfilhamento, propagação vegetativa.

ABSTRACT

The effects of planting density and nutrient addition on container-grown vegetative propagules of halophytic grasses

The halophytic grasses *Spartina alterniflora* and *Spartina densiflora* are bioengineer species, which can be utilized on the mitigation of disturbed areas of salt marshes and mangroves, for coastal erosion control and to stabilize dredged material disposed in estuarine and coastal areas. The effects of planting density and fertilization with

nitrogen (N) and phosphorus (P) on container-grown (0,15 m²; 7500 cm³) vegetative propagules of both species were evaluated under greenhouse conditions, through two experiments during the years 2009 and 2011. In 2009, only *S. alterniflora* was cultivated within 2 planting densities (133 and 400 propagules m⁻² and 2 levels fertilization (without addition and with total addition of 50.8 gN m⁻² and 16 gPm⁻²). In 2011, containers with 80 propagules m⁻² of both species received N and P fertilization rates of 2N:1P, 6N:1P, 10N:1P and 14N:1P (for a total addition of 115 gN m⁻²). NP fertilization stimulated leaf formation and, in fertilized containers, the average number of *S. alterniflora* tillers was twice larger than control treatments. However, initial planting densities of 400 or more propagules m⁻² resulted in excessive vertical growth of *S. alterniflora* tillers (about 100 cm height), which can result into plant losses during handling and transplantation. For both species, the 2N:1P fertilization rate resulted in higher tillering.

Key words: *Spartina* spp., fertilization, tillering, vegetative propagation.

1. INTRODUÇÃO

O plantio das gramíneas do gênero *Spartina* (Poaceae) tornou-se uma alternativa padrão de mitigação de áreas entremarés degradadas, bem como para o controle de erosão e disposição de dragado em regiões estuarinas e costeiras (Broome et al., 1983; Chung, 2004; Mendonça & Costa, 2008; Costa et al., 2012). Gramíneas deste gênero são tolerantes a altas salinidades (halófitas) e reconhecidas como espécies bioengenheiras, por sua capacidade de colonizar áreas desnudas alagadas periodicamente pelo mar, reduzir a hidrodinâmica e promover a deposição do sedimento com sua densa copa, além de fixar o sedimento depositado com seu sistema radicular (Chung, 2004, Mendonça & Costa, 2008; Costa et al., 2012; Marangoni & Costa, 2012). O recobrimento da zona entremarés por estas gramíneas e outras plantas herbáceas halófitas possibilita a formação de banhados alagados por água do mar denominados de marismas ou salgados, tanto em estuários como em lagunas, baías e ilhas de barreira. Estes ambientes ocorrem em costas temperadas e subtropicais, mas também ao longo dos trópicos, nas bordas dos bosques de mangue (Adam, 1990; Costa & Davy, 1992; Costa et al., 2009). A legislação federal brasileira (Lei nº 12.651 25/05/2012) define as

marismas como áreas de proteção permanente (APP), vitais para proteção da costa contra a erosão marinha, para sustentação da biodiversidade e dos recursos pesqueiros pelo oferecimento de habitats, além de determinante dos ciclos biogeoquímicos locais devido suas altas taxas de produção primária. Entretanto, as marismas têm sido degradadas com a ocupação humana da costa e mais recentemente pela elevação relativa do nível do mar, relacionada ao aquecimento global (Costa et al., 2009).

Mudas de gramíneas do gênero *Spartina* podem ser obtidas em casa de vegetação ou canteiros abertos, a partir da germinação de sementes e de propágulos vegetativos (hastes com fragmentos de rizomas e raízes) coletados nas próprias áreas de marisma a serem recuperadas (Chung, 2004; Mendonça & Costa, 2008; Costa, 2011a; 2011b). A produção de mudas em recipientes possibilita um melhor controle da nutrição e à proteção das raízes contra os danos mecânicos e a desidratação (Ristvey et al., 2007; Gomes et al., 2009), bem como um menor custo de produção e um manejo mais adequado no viveiro e no plantio (Costa, 2011a; 2011b). Para otimização da produção de mudas em recipientes é necessária a avaliação da resposta de crescimento ao adensamento de indivíduos. Nas marismas, gramas *Spartina* crescem em densidades de até 5000 hastes m⁻² e suas raízes tendem a se concentrar no sedimento superficial, devido à anoxia em camadas mais profundas (Nieva et al., 2001; Costa et al., 2003; Daleo et al., 2008). Logo, estas plantas apresentam um grande potencial de produção de mudas em recipientes, mas poucos estudos avaliaram esta possibilidade fitotécnica (Deng et al., 2008; Costa et al., 2011a; 2011b) e faltam quantificações do efeito da densidade de plantio sobre a formação de perfilhos.

Gramas de marismas podem se desenvolver em condições nutricionais muito variáveis. No ambiente natural, o nitrogênio (N) tem sido considerado o principal elemento limitante do crescimento de plantas de *Spartina* (Mendelssohn, 1979; Levine et al., 1998; Emery et al., 2001; Rickey & Anderson, 2004). *Spartina alterniflora* requer muito nitrogênio em relação ao fósforo (P), e a razão N:P no tecido, sob condições de mínima necessidade para o crescimento, é de 16N:1P (Smart & Barko, 1980). Broome et al. (1983) demonstraram que a disponibilidade de P rapidamente se torna limitante para *S. alterniflora*, a medida que aumenta a quantidade de N adicionada a plantios. Adicionalmente, planos de lama entremarés com solos saturados hipóxicos

frequentemente possuem razão N:P tão baixas quanto 2,5N:1P (Marangoni, 2001; Mendonça & Costa, 2008). A disponibilidade de P no sedimento pode influenciar tanto a ocupação dos solos pelos rizomas como a formação de perfilhos por *Spartina* (Marangoni, 2001; Costa et al., 2003; Mendonça & Costa, 2008). Em sistemas convencionais de horticultura, fertilizantes com baixa razão N:P são frequentemente utilizados para estimular o desenvolvimento de raízes-rizomas em detrimento das estruturas aéreas (Ristvey et al., 2007). Um dos desafios para a produção de mudas de *Spartina* em casas de vegetação é a definição das condições ótimas de aplicação conjunta destes dois macronutrientes em recipientes.

Em áreas entremarés da costa brasileira são encontradas duas espécies do gênero *Spartina*. *S. alterniflora* Loisel. que apresenta formação espaçada de suas hastes ao longo dos rizomas e desenvolve-se amplamente na parte mais baixa do piso entremarés (Adam, 1990; Costa & Davy, 1992; Marangoni & Costa, 2012). Já *S. densiflora* Brong., que forma moitas devido a pequena distância entre os entrenós das hastes, domina pisos entremarés médios e altos (Costa et al., 2003; Peixoto & Costa, 2004). Estas espécies podem também coexistir em planos arenolodosos em processo de colonização e vem sendo utilizadas em projetos de fitorremediação na zona costeira (Mendonça & Costa, 2008; Costa, 2011a; 2011b; Marangoni & Costa, 2012). Este estudo visou avaliar os efeitos da densidade de plantio e da adição de N e P sobre a produção de perfilhos e o desenvolvimento de mudas das gramas *S. alterniflora* e *S. densiflora* cultivadas em recipientes no ambiente de casa de vegetação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos de produção de mudas de *Spartina* foram realizados, respectivamente, na primavera de 2009 e no inverno-primavera de 2011, em uma estufa agrícola não climatizada localizada no Museu Oceanográfico “Prof. Eliézer de Carvalho Rios” da FURG (Rio Grande, RS). Mudas de *S. alterniflora* e *S. densiflora* foram obtidas através de propagação vegetativa de plantas coletadas na marisma da Ilha da Pólvora (Rio Grande, RS, 32°02'06"S e 52°05'55"W), sendo que plantas de *S. densiflora* foram obtidas apenas em 2011. As plantas coletadas foram separadas em mudas contendo uma haste (colmo) com raízes e fragmentos de rizomas. Essas mudas foram

acomodadas em bandejas plásticas (30 cm x 50 cm; 0,15 m²) com areia fina de praia e composto orgânico (3:1), formando um leito de 5 cm de espessura no fundo das bandejas para enraizamento e formação de perfilhos (volume de solo de 7500 cm³), conforme metodologia descrita por Mendonça & Costa (2008) e Costa (2011b). A análise da areia de praia indicou a seguinte composição: pH= 7,2; N= 0,3 mg kg⁻¹; P= 0,5 mg kg⁻¹; e K= 19,0 mg kg⁻¹. O composto orgânico tipo “terra preta” utilizado da marca Humosolo Vida, foi previamente peneirado em malha de 5 mm, e apresentou a seguinte composição: pH= 5,6; N= 7,7 g kg⁻¹; P= 3,7 g kg⁻¹; e K= 1,6 g kg⁻¹.

As bandejas foram distribuídas aleatoriamente na estufa e irrigadas diariamente com água doce de torneira. A cada 15-20 dias as plantas foram borrifadas com água do mar, que forneceu a suplementação de sódio necessária para estas plantas C4 halófitas (Smart & Barko, 1980), além de limitar o crescimento de briófitas no sedimento e o ataque de insetos. Dados diários de temperatura na estufa foram obtidos através de um termômetro de mercúrio de máximas e mínimas.

2.1. Experimento de 2009 – Densidade de plantio e adubação com N e P

O primeiro experimento foi conduzido ao longo de 80 dias entre outubro e dezembro de 2009, visando otimizar a densidade de plantio e avaliar o efeito da adubação com N e P na produção de perfilhos de *S. alterniflora*. Mudanças previamente coletadas foram cultivadas nas bandejas de 0,15 m² em 2 densidades de plantios (20 mudas = 133 plantas m⁻² e 60 mudas = 400 mudas m⁻²) e 2 níveis de adição de nutrientes (sem adubação; e com adição total de 50,8 gN m⁻² e 16 gP m⁻²). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com duas repetições hierarquizadas (“nested”) em cada nível de densidade e de adição de nutrientes. Os nutrientes utilizados foram do tipo granulado industrial, marca “Ourofertil”; P como superfosfato (19% de P₂O₅) e N como sulfato de amônio [21% de (NH₄)₂SO₄]. A adição dos nutrientes foi dividida em duas aplicações, realizadas no início e após 40 dias de cultivo. A quantidade total de N e P utilizada foi baseada nos trabalhos de Mendelssohn (1979), Buresh et al. (1980), Levine et al. (1998), Emery et al. (2001) e Rickey & Anderson (2004), que estudaram a limitação destes nutrientes para espécies de *Spartina*. As mudas mortas nas primeiras duas semanas de cultivo foram repostas. Após 30 dias e ao final dos 80 dias de cultivo foram realizadas medições do número total de hastes novas (perfilhos), da

altura (comprimento da maior folha da haste a partir da base do colmo em cm) e do número de folhas vivas de cada haste.

2.2. Experimento de 2011 - adubação com diferentes relações N:P

O efeito da adubação com diferentes razões N e P na produção de perfilhos e no desenvolvimento de mudas de *S. alterniflora* e *S. densiflora*, em casa de vegetação, foi avaliado através de um experimento empregando a técnica de propagação citada anteriormente. Para cada espécie, foram estabelecidas 12 bandejas (0,15 m² cada) com 12 mudas por bandeja (144 mudas por espécie). As mudas mortas nas primeiras duas semanas de cultivo foram repostas. Após 30 dias, as bandejas foram designadas aleatoriamente para 4 grupos de 3 bandejas e adubadas, sendo que cada grupo recebeu uma única vez, respectivamente, a adição de 58, 19, 12 e 8,2 g m⁻² de P (superfosfato) por bandeja. Foram adicionadas 115 g m⁻² de N (sulfato de amônio) em cada bandeja, quantidade cerca de duas vezes maior do que a utilizada no experimento de 2009. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com três repetições hierarquizadas (“nested”) em cada um dos quatro níveis de adição de nutrientes, compostos pelas razões 2N:1P, 6N:1P, 10N:1P e 14N:1P. Os nutrientes utilizados foram do tipo granulado industrial, marca “Ourofertil”. No dia da adubação, as 12 mudas estabelecidas em cada bandeja tiveram quantificadas as suas alturas (cm), números de folhas vivas e de perfilhos. Ao final do experimento, após 120 dias de cultivo, foram medidas novamente as alturas, os números de folhas vivas, de folhas mortas e de perfilhos das mudas originais.

2.3. Análises Estatísticas

Os dados dos dois experimentos foram analisados através de Análises de Variância (Zar, 1999) em termos de produção média de perfilhos por bandeja e do desenvolvimento individual das mudas, em cada nível dos tratamentos testados. A produção de perfilhos de *S. alterniflora* por bandeja ao final dos 80 dias do experimento de 2009 de adição de nutriente (Nu) em bandejas com diferentes densidades (De) de mudas foi comparada através de ANOVA bifatorial (com fator de interação Nu x De). Para as duas espécies, a produção de perfilhos após 120 dias do experimento de 2011 com mudas cultivadas em diferentes razões N:P foram comparadas através de ANOVA unifatorial. Estas análises foram realizadas tanto para valores absolutos como para

valores percentuais, em relação à densidade de mudas plantadas por bandeja. Foi necessária a transformação dos dados percentuais através da função Raiz Quadrada para atender os pré-requisitos de normalidade e homocedasticidade da ANOVA (Zar, 1999). O teste “a posteriori” de contraste da Mínima Diferença Significativa de Fisher (“LSD”) foi utilizado para detectar diferenças significativas entre médias ao nível de 5% (Zar, 1999).

Para a análise do desenvolvimento individual das mudas de ambas as espécies, as médias de altura das hastes, dos números de folhas vivas, de folhas mortas e de perfilhos por haste foram comparadas entre níveis dos tratamentos através de ANOVAs para dados iniciais (30 dias) e finais dos dois experimentos. No experimento de 2009, apenas a altura e o número de folhas vivas por haste foram quantificados. O desenho utilizado nas ANOVAs foi o hierárquico (“nested”), com as bandejas aninhadas dentro dos níveis dos tratamentos (densidades e nutrientes). O modelo hierárquico das ANOVAs não incluiu um fator de interação Nu x De, devido à inserção do fator de variabilidade entre bandejas réplicas (FB) dentro de cada nível dos tratamentos. A avaliação dos efeitos dos tratamentos no desenvolvimento final das mudas para os experimentos de 2009 e 2011 foi realizada utilizando, respectivamente, apenas parâmetros biométricos das 10 e 6 maiores mudas de cada bandeja (máximo desempenho (Costa et al., 2003). Devido à arquitetura clonal de crescimento de plantas de *Spartina* (Costa & Seeliger, 1988; Costa et al., 2003; Deng et al., 2008), após várias semanas de desenvolvimento e perfilhamento cada bandeja possuía brotos recentes, com poucos centímetros, hastes jovens em expansão vertical e hastes maduras com folhas totalmente expandidas. Adotando a medida do máximo desempenho médio alcançado em cada condição experimental, pode se prevenir a distorção da inserção da medição de brotos e hastes jovens na avaliação do potencial de desenvolvimento de uma planta clonal. Com este expediente, as variáveis finais de ambas as espécies alcançaram os pré-requisitos de normalidade e homocedasticidade da ANOVA (Zar, 1999). Alguns parâmetros biométricos iniciais (30 dias) do experimento de 2011 foram transformados antes das ANOVAs, sendo estes o número de perfilhos por haste de *S. alterniflora* transformados utilizando a função raiz quadrada, os números de folhas vivas e de perfilhos por haste de *S. densiflora*, transformados através das funções $\text{Log}_{10}(x)$ e

$\text{Log}_{10}(x+1)$. O teste LSD foi utilizado para detectar diferenças significativas entre médias ao nível de 5% (Zar, 1999).

3. RESULTADOS

3.1. Experimento de 2009

O experimento de 2009 foi desenvolvido entre o início de outubro e o final de dezembro de 2009, sendo as médias (\pm erro-padrão) das temperaturas mínimas noturna e máximas diurna foram, respectivamente, de $16,3 \pm 1,0$ °C e $28,2 \pm 1,9$ °C.

A produção de perfilhos (hastes) de *S. alterniflora* por bandeja com adubação foi maior do que as não adubadas (FNU= 20,9; $p < 0,01$) e as bandejas cultivadas com alta densidade apresentaram o maior número final de hastes (FDe= 108,1; $p < 0,001$; Figura 1A). Entretanto, quando analisado o desempenho percentual da produção de perfilhos em relação à densidade inicial de plantio, ocorreu apenas um efeito significativo da adição de nutrientes (FNU= 8,4; $p < 0,05$). Após 80 dias de cultivo, as bandejas adubadas cultivadas com densidade baixa e com densidade alta apresentaram percentuais de aumento do número de mudas por perfilhamento entorno de 200%, estatisticamente semelhantes (FDe= 2,4; $p = 0,193$; Figura 1A).

As médias iniciais (após 30 dias de cultivo) da altura das hastes (média global = $27,4 \pm 0,7$; $n = 320$) e do número de folhas vivas ($2,6 \pm 0,2$ folhas por haste) das mudas de *S. alterniflora* não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as bandejas designadas para os diferentes níveis dos tratamentos de densidade de plantio e de adição de nutrientes (Tabela 1). Ao final dos 80 dias de cultivo, independentemente da densidade de plantio, as mudas adubadas mostraram alturas médias maiores ($p < 0,001$). Este ganho em altura com a adubação foi marcadamente superior para mudas crescendo em alta densidade ($99,8 \pm 0,9$ cm), resultando em efeitos significativos do tratamento densidade ($p < 0,001$) e da variabilidade entre bandejas (FB; $p < 0,001$) (Tabela 1). O número médio de folhas vivas por haste apresentou diferenças significativas apenas entre mudas adubadas e não adubadas em alta densidade (FB; $p < 0,05$) (Tabela 1).

3.2. Experimento de 2011

O experimento de 2011 foi desenvolvido entre meados do mês de julho e novembro de 2011, sendo as médias das temperaturas mínimas noturna e máximas

diurna, respectivamente, $14,1 \pm 0,6$ °C e $25,1 \pm 0,9$ °C.

Após 120 dias de cultivo, a produção média de hastes por bandeja das mudas de *S. alterniflora* cultivadas na razão 2N:1P ($31,0 \pm 1,9$ hastes por bandeja; $258 \pm 16\%$ da densidade de plantio) foi maior do que das demais razões N:P (FNU= 4,24; $p < 0,05$; Figura 1B). *S. densiflora* demonstrou uma formação de mudas por perfilhamento 2-3 vezes maior do que *S. alterniflora*, entretanto não ocorreram diferenças significativas na produção média de hastes entre razões N:P (FNU= 0,69; $p = 0,580$; Figura 1C).

Após 30 dias de cultivo (logo, antes da adição de nutrientes), mudas de ambas as espécies não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) na altura, número de folhas vivas por haste e número de perfilhos por haste entre as bandejas designadas para diferentes razões N:P. *S. alterniflora* exibiu valores médios iniciais de altura das hastes oscilando entre $26,6 \pm 2,6$ e $29,4 \pm 1,5$ cm, número de folhas vivas por haste entre $1,6 \pm 0,1$ e $1,9 \pm 0,1$ e o número de perfilhos por haste entre $0,75 \pm 0,02$ a $0,84 \pm 0,04$. Para *S. densiflora*, as alturas iniciais das hastes variaram entre $27,0 \pm 1,6$ a $30,6 \pm 1,7$ cm, número de folhas vivas por haste entre $0,41 \pm 0,02$ a $0,47 \pm 0,02$ e número de perfilhos por haste entre $0,07 \pm 0,02$ e $0,11 \pm 0,02$. Aos 30 dias, foram detectadas diferenças significativas entre bandejas réplicas de *S. densiflora* quanto à altura das hastes (FB= 2,27; $p < 0,05$) e ao número de perfilhos por haste (FB= 2,07 $p < 0,05$), principalmente devido a variações destes parâmetros entre bandejas do tratamento 6N:1P.

Passados 120 dias de cultivo, ambas as espécies demonstraram um ótimo crescimento vegetativo. A razão N:P teve um efeito significativo sobre a altura e o número de perfilhos por haste de *S. alterniflora*, que aumentaram entre 14N:1P e 2N:1P (Figura 2A, D; Tabela 2). O número de folhas mortas por haste apresentou um padrão de resposta antagônico aos parâmetros acima citados entre as razões N:P utilizadas (Figura 2C). As plantas submetidas à razão 2N:1P apresentaram uma média de folhas mortas por haste duas vezes menor do que das plantas crescendo nas demais razões N:P. O número de folhas vivas por haste aos 120 dias não apresentou diferença significativa entre níveis de nutrientes (Tabela 2; Figura 2B), logo as plantas de *S. alterniflora* na razão 2N:1P mostraram uma menor renovação foliar do que as plantas submetidas a alta razão 14N:1P. Adicionalmente, também foi detectada uma variação significativa na altura e nos números de folhas vivas e de perfilhos por haste entre bandejas dentro dos

diferentes níveis de nutrientes, particularmente na razão 2N:1P (Tabela 2).

Ao final do experimento, plantas de *S. densiflora* não tiveram nenhum parâmetro biométrico afetado pela razão N:P (Figura 2), mas o número de perfilhos variou significativamente entre bandejas-réplicas dentro dos níveis de nutrientes (Tabela 2).

4. DISCUSSÃO

4.1. Densidade de plantio de *S. alterniflora*

As mudas de *S. alterniflora* crescendo em recipientes com 7500 cm³ de solo atingiram em 80 dias densidades médias finais de até 800 hastes m⁻² (120 hastes por bandeja), valor maior do que as densidades naturais médias desta grama observadas em marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS), que variaram entre 380 hastes m⁻² (Copertino et al., 1997) e 613 hastes m⁻² (Costa et al., 2003). Sob adubação, mudas em menores densidades de plantio (20 mudas = 133 hastes m⁻²) alocaram proporcionalmente mais recursos para formação de perfilhos do que as plantadas em alta densidade, mas atingiram apenas cerca de um terço da produção de hastes.

A adubação das plantas de *S. alterniflora* em altas densidades iniciais (60 mudas = 400 hastes m⁻²) resultou em marcado desenvolvimento da copa em altura e número de folhas, desfavorável ao manejo. O manuseio, transporte e plantio destas plantas com cerca de um metro de altura exige uma demanda muito maior de tempo. Adicionalmente plantas mais altas tendem a sofrer maior mortalidade após o plantio na zona entremarés, devido a ação de ondas e ao maior empuxo quando submersas (Castillo et al., 2005). A resposta de crescimento da copa de *S. alterniflora* em alta densidade também foi observada em populações naturais sujeitas a limitação de espaço e alta disponibilidade de nitrogênio, sendo atribuída a uma resposta competitiva a redução da luz dentro da copa estabelecida (Levine et al., 1998; Emery et al., 2001; Pennings et al., 2002). A redução do tempo de cultivo dos perfilhos formados em recipientes adubados ou o plantio de mudas em densidades menores do que 400 hastes m⁻² podem permitir a otimização da produção de mudas com um tamanho mais apropriado (40-60 cm de altura) para manuseio e transplante para o ambiente natural.

4.2. Razão N:P

Os teores de nitrogênio (50,8 a 115 g m⁻²) adicionado às bandejas nos dois

experimentos mostrou um efeito estimulante ao desenvolvimento de mudas de *S. alterniflora*. Valores semelhantes foram empregados para adubação desta espécie no ambiente de marisma também aumentaram o crescimento das plantas (Buresh et al., 1980; Broome et al., 1983; Levine et al., 1998; Emery et al., 2001; Pennings et al., 2002; Mendonça & Costa, 2008). A forma granulada utilizada dos fertilizantes garantiu uma liberação lenta dos nutrientes ao longo do cultivo, confirmada pela boa qualidade fitossanitária final das plantas (folhas verde-escuro e vários perfilhos por haste).

A razão 2N:1P (maior quantidade de P) estimulou a formação de perfilhos em recipientes das duas espécies de *Spartina* estudadas. A intensa formação de perfilhos por *S. alterniflora* em solos com baixa razão N:P foi anteriormente observada em marismas (Costa et al., 2003; Mendonça & Costa, 2008). Broome et al. (1983) observaram que frente a uma adubação de 22,4 gN m⁻² em uma marisma no sudeste dos E.U.A., o aumento da adição de P de 1,2 para 9,9 gP m⁻² (redução da razão N:P de 18,6 para 2,2) resultou em um aumento de 46% do número de perfilhos de *S. alterniflora*. Cecato et al. (2008) também relatam a importância do fósforo no perfilhamento do capim-Mombaça (*Panicum maximum*), bem como que adubos fosfatados tiveram maior efeito sobre o número de perfilhos nesta grama em relação a adubos nitrogenados.

Além do maior perfilhamento, sob razão 2N:1P as plantas de *S. alterniflora* apresentaram redução da renovação foliar, evidenciada pelo menor número de folhas mortas. Gusewell (2004) observou que plantas perenes sob deficiência de N (adubação com baixas razões N:P) apresentaram menores taxas de senescência foliar do que plantas submetidas a deficiência de P (altas razões N:P). Este autor explica esta resposta pela mobilização de P das folhas velhas para as folhas jovens quando da deficiência deste elemento, resultando na inibição da fotossíntese e aceleração da senescência das folhas velhas. Este fenômeno também foi observado em plantas de *S. alterniflora*, que apresentam teores foliares de P diretamente associados a quantidade de adubação com P, mas teores foliares de N sem alteração ou mesmo menores frente a adubação com N (Broome et al., 1983). Adicionalmente, Smart (1994) sugeriu que o acúmulo de citocininas no tecido das plantas pode ser responsável por altas taxas de perfilhamento e atraso da senescência das folhas maduras. Estes hormônios vegetais sintetizados e transportados das raízes até os perfilhos têm sua produção controlada/regulada pelo

suprimento de N ou P (Gusewell, 2004). O papel destes hormônios no perfilhamento de plantas de *S. alterniflora* deveria ser futuramente analisado.

Exceto pela formação de perfilhos, todas as demais variáveis biométricas quantificadas de *S. densiflora* foram pouco influenciadas pela variação na razão N:P de cultivo. Respostas contrastantes a adição de nutrientes por *S. densiflora* e *S. alterniflora* já haviam sido observadas anteriormente. Em um experimento com parcelas monoespecíficas de marismas na Argentina, Daleo et al. (2008) observaram após 16 meses de adubação com NPK (19:5:5) apenas um incremento de 60% na densidade de hastes de *S. densiflora*, em relação a parcelas controle (de 1632 para 2604 hastes m⁻²), enquanto *S. alterniflora* respondeu com um aumento da altura média da copa de 65% (de 60 para 99 cm) e dobrou o número de hastes (de 133 para 277 hastes m⁻²). O denso perfilhamento é a principal estratégia utilizada por *S. densiflora* para ocupação espacial e exclusão de plantas competidoras, tendo sido observado em marismas populações com 900 a 5000 hastes m⁻² (Nieva et al., 2001; Costa et al., 2003; Daleo et al., 2008; Costa & Marangoni, 2012). Melhores eficiências nutricionais e capacidade de crescimento em solos de marismas pobres em nutrientes têm sido atribuídas à monocotiledôneas com pequena distância entrenós nos rizomas e que formam tufos de hastes, como *S. densiflora*. Estas habilidades seriam o resultado de uma maior razão biomassa rizomas-raízes:biomassa foliar e consequente capacidade de forragem por nutrientes (Levine et al., 1998; Emery et al., 2001; Costa et al., 2003; Daleo et al., 2008). A mistura de composto orgânico e areia utilizada demonstrou ser adequada ao desenvolvimento de *S. densiflora* em recipientes. O ganho em perfilhamento pela adubação desta espécie deve ser considerado do ponto de vista econômico, antes da adoção desta prática.

A forma de crescimento em tufo de hastes por *S. densiflora* dificulta a separação das mudas para propagação vegetativa e parece ser a principal causa das diferenças no número de perfilhos produzidos por haste entre bandejas-réplicas. O corte dos rizomas com distância entrenós reduzida por vezes resulta no comprometimento de gemas basais (dos nós do rizoma). Adicionalmente, ao fragmentar os tufos de hastes das plantas-mãe para preparar as mudas, há dificuldade para separar rizomas e raízes, o que resulta em biomassas subterrâneas desiguais e consequentemente, desempenhos diferenciados em função de, possivelmente, diferentes números de gemas basais e/ou reservas

nutricionais.

5. CONCLUSÕES

Plantas de *S. alterniflora* e de *S. densiflora* podem ser multiplicadas dentro de viveiro por perfilhamento em recipientes de cultivo. A adubação com N (50,8 g m⁻²) e P (16 gP m⁻²) estimulou a formação foliar e dobrou o número de hastes de *S. alterniflora* após 80 dias de cultivo, no entanto densidades iniciais de 400 ou mais hastes m⁻² nos recipientes de cultivo resultaram em alongamento vertical excessivo das hastes desta grama (cerca de 100 cm de altura), o que prejudica o manuseio e o plantio. A adubação com razão 2N:1P resulta em melhor perfilhamento de plantas de *S. alterniflora* e de *S. densiflora*. Melhores resultados são obtidos em cultivos com bandejas de baixas densidades e baixas relações 2N:1P.

REFERÊNCIAS

- Adam P (1990) Saltmarsh Ecology. New York, Cambridge University Press. 461p.
- Boyer KE & Zedler JB (1998) Effects of nitrogen additions on the vertical structure of a constructed cordgrass. *Ecological Applications*, 8(3):692-705.
- Broome SW, Seneca ED & Woodhouse Jr WW (1983) The effects of source, rate and placement of nitrogen and phosphorus fertilizers on growth of *Spartina alterniflora* transplants in North Carolina. *Estuaries*, 6(3):212-226.
- Buresh RJ, Delaune RD & Patrick Jr (1980) Nitrogen and phosphorus distribution utilization by *Spartina alterniflora* in a Louisiana gulf coast marsh. *Estuaries*, 3(2):111-121.
- Castillo JM, Redondo S, Wharmby C, Figueroa ME, Luque T, Castellanos EM & Davy, AJ (2005) Environmental Determination of Shoot Height in Populations of the Cordgrass *Spartina maritima*. *Estuaries*, 28(5):761-766.
- Cecato U, Skrobot VD, Fakir GR, Branco AF, Galbeiro S & Gomes JAN (2008) Perfilhamento e características estruturais do capim-Mombaça, adubado com fontes de fósforo, em pastejo. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 30(1):1-7.
- Chung CH (2004) Forty years of ecological engineering with *Spartina* plantations in China. *Ecological Engineering*, 27(1):49-57.

- Copertino M, Costa CSB & Seeliger U (1997) Dinâmica populacional de *Spartina alterniflora* em pântanos salgados do estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande, RS. In: VIII Seminário Regional de Ecologia, São Carlos. Anais, Pós-Graduação em Ecologia. In: Greipsson S (Ed.) Restoration Ecology. Sudbury (MA. U.S.A.), Jones and Bartlett Publishers, 333-338.
- Costa CSB (2011b) Projeto de recuperação de marismas. In: Tagliani PRA, Asmus ML (Eds.) Manej e Recursos Renováveis UFSCar, 295 - 312
- Costa CSB & Seeliger U (1988) Demografia de folhas de *Spartina ciliata* Brong. em dunas e brejos costeiros. Revista Brasileira de Botânica, 11:85-94.
- Costa CSB (2011a) Restoration of coastal salt marshes in Brazil using native salt marsh plants o integrado do estuário da Lagoa dos Patos: uma experiência de gerenciamento costeiro no sul do Brasil. Rio Grande (RS), Editora da FURG, 179-187.
- Costa CSB & Davy AJ (1992) Coastal saltmarsh communities of Latin America. In: Seeliger U (Ed.) Coastal plant communities of Latin America. San Diego (USA), Academic Press Inc., 179-198.
- Costa CSB, Marangoni JC & Azevedo AMG. (2003) Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. Journal of Ecology, 91(6):951-965.
- Costa CSB, Mendonça PTM & Marangoni JC (2012) Criação de uma marisma em uma enseada estuarina no sul do Brasil utilizando sedimento dragado. In: VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental (VII SBEA), Criciúma (SC). Anais, Associação Brasileira de Engenharia Ambiental – ASBEA, 960 – 969.
- Costa CSB, Iribarne OO & Farina JM (2009) Human impacts and threats to the conservation of South American salt marshes. In: Silliman BR, Grosholtz T, & Bertness MD (Eds.) Salt marshes under global siege. Berkeley, University of California Press, 337-359.
- Daleo P, Alberti J, Canepuccia A, Escapa M, Fanjul E, Silliman, BR, Bertness, MD & Iribarne O (2008) Mycorrhizal fungi determine salt-marsh plant zonation depending on nutrient supply. Journal of Ecology, 96:431–437.
- Deng Z, Shuqing A, Zhao C, Chen L, Zhou C, Zhi Y & Li H (2008) Sediment burial stimulates the growth and propagule production of *Spartina alterniflora* Loisel.

- Estuarine, Coastal and Shelf Science, 76:818-826.
- Emery NC, Ewanchuk PJ & Bertness MD (2001) Competition and salt-marsh plant zonation: stress tolerators may be dominant competitors. *Ecology*, 82:2471–2485.
- Gomes-Neto A & Costa CSB (2009) Survival and growth of the dominant salt marsh grass *Spartina alterniflora* in an oil industry saline wastewater. *International Journal of Phytoremediation*, 11:640-650.
- Gusewell S (2004) N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, 164:243–266.
- Levine JM, Brewer JS & Bertness MD (1998) Nutrients, competition and plant zonation in a New England salt marsh. *Journal of Ecology*, 86:285-292.
- Marangoni JC (2001) Interação competitiva e habilidade colonizadora das plantas dominantes de uma marisma irregularmente inundada no estuário das Lagoa dos Patos (RS, Brasil). Tese de Doutorado. Oceanografia Biológica. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, 169p.
- Marangoni JC & Costa CSB (2012) Short- and long-term vegetative propagation of two *Spartina* species on a salt marsh in southern Brazil. *Estuaries and Coasts*, 35:763-773.
- Mendelssohn IA (1979) The influence of nitrogen level, form, and application method on the growth response of *Spartina alterniflora* in North Carolina. *Estuaries*, 2(2):106-112.
- Mendonça PTM & Costa CSB (2008) Efeitos da disponibilidade de nitrogênio e fósforo no estabelecimento de *Spartina alterniflora* em um plano entremarés irregularmente alagado. *Neotropical Biology and Conservation*, 3(3):135-148.
- Nieva FJJ, Diaz-Espejo A, Castellanos EM & Figueiroa ME (2001) Field variability of invading populations of *Spartina densiflora* Brong. in different habitats of the Odiel marshes (SW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52:515–527.
- Peixoto AR & Costa CSB (2004) Produção primária líquida aérea de *Spartina densiflora* Brong. (Poacea) no estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia Série Botânica*, 59(1):27-34.
- Pennings SC, Stanton, LE & Brewer, JS (2002) Nutrient effects on the composition of salt marsh plant communities along the southern Atlantic and Gulf coasts of the United States. *Estuaries*, 25 (6A):1164–1173.

- Rickey M & Anderson RC (2004) Effects of nitrogen addition on the invasive grass *Phragmites australis* and a native competitor *Spartina pectinata*. *Journal of Applied Ecology*, 41:888-896.
- Ristvey AG, Lea-Cox JD & Ross DS (2007) Nitrogen and phosphorus uptake efficiency and partitioning of container-grown azálea during spring growth. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 132(4):563–571.
- Smart CM (1994) Gene expression during leaf senescence. *New Phytologist*, 126:419-448.
- Smart RM & Barko JW (1980) Nitrogen nutrition and salinity tolerance of *Distichlis spicata* and *Spartina alterniflora*. *Ecology*, 61(3):630-638.
- Zar, JH (1999) *Biostatistical analysis*. Nova Jersey, Prentice-Hall Inc., 718 p.

Tabela 1. Médias (\pm erro-padrão) iniciais (30 dias) e finais (80 dias) de altura e do número de folhas vivas das mudas de *Spartina alterniflora* nos diferentes níveis de densidade de plantio (D) e de adição de nutrientes (Nu) no experimento de 2009. As médias finais dos parâmetros foram obtidas das 10 maiores plantas de cada bandeja de cultivo (máximo desempenho). Resultados dos testes de Fisher (F) para análises de variância também são apresentados para os tratamentos e variabilidade entre bandejas-réplicas (B).

Tratamentos			Após 30 dias			Após 80 dias	
D	Nu	n	Altura (cm)	Folhas vivas	n	Altura (cm)	Folhas vivas
Alta	np	120	30,9 \pm 1,1	3,6 \pm 0,1	20	99,8 \pm 0,9	4,1 \pm 0,2a
Alta	sem	120	25,0 \pm 1,1	3,0 \pm 0,1	20	60,4 \pm 0,6	3,2 \pm 0,2b
Baixa	np	40	24,3 \pm 1,9	3,4 \pm 0,1	20	63,6 \pm 1,0	3,7 \pm 0,2ab
Baixa	sem	40	27,0 \pm 1,9	3,5 \pm 0,1	20	61,9 \pm 1,6	3,7 \pm 0,2ab
		FNu	2,22 ns	0,9 ns	FNu	304,6 ***	0,3 ns
		FD	1,04 ns	2,29 ns	FD	429,5 ***	7,21 **
		FB	2,08 ns	1,94 ns	FB	76,1 ***	2,69 *

ns = $p > 0,05$ (não significativo); * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Letras minúsculas diferentes na vertical indicam médias que diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Tabela 2. Resultados das Análises de Variância de máximo desempenho (6 maiores plantas de cada bandeja de cultivo) da altura das hastes, números de folhas vivas, de folhas mortas e de perfilhos produzidos por haste após 120 dias de cultivo de *Spartina alterniflora* e *Spartina densiflora* em diferentes razões N:P de adição de nutrientes (Nu). O modelo de ANOVA utilizado considerou a variância no desenvolvimento das plantas relacionada à bandeja de cultivo (B) aninhada em seu respectivo nível de adição de nutriente. Os graus de liberdade para os níveis de adição de nutrientes, variabilidade entre bandejas e variância residual foram, respectivamente, 3, 8 e 58.

Variáveis	Soma dos Quadrados			Testes de Fisher			
	Nu	B	Resíduo	FNu	Sig	FB	Sig
<i>Spartina alterniflora</i>							
Altura (cm)	1591,61	2641,54	8392,35	3,4	*	2,1	*
Folhas vivas	18,88	46,33	129,15	2,6	ns	2,4	*
Perfilhos	13,25	17,04	53,50	4,5	**	2,2	*
Folhas mortas	31,64	22,21	91,80	6,2	***	1,6	ns
<i>Spartina densiflora</i>							
Altura (cm)	768,94	3376,93	18660,39	0,8	ns	1,3	ns
Folhas vivas	7,02	9,10	64,67	2,1	ns	1,0	ns
Perfilhos	51,11	197,67	383,00	2,7	ns	3,9	***
Folhas mortas	1,49	5,67	29,50	1,0	ns	1,4	ns

ns = $p > 0,05$ (não significativo); * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

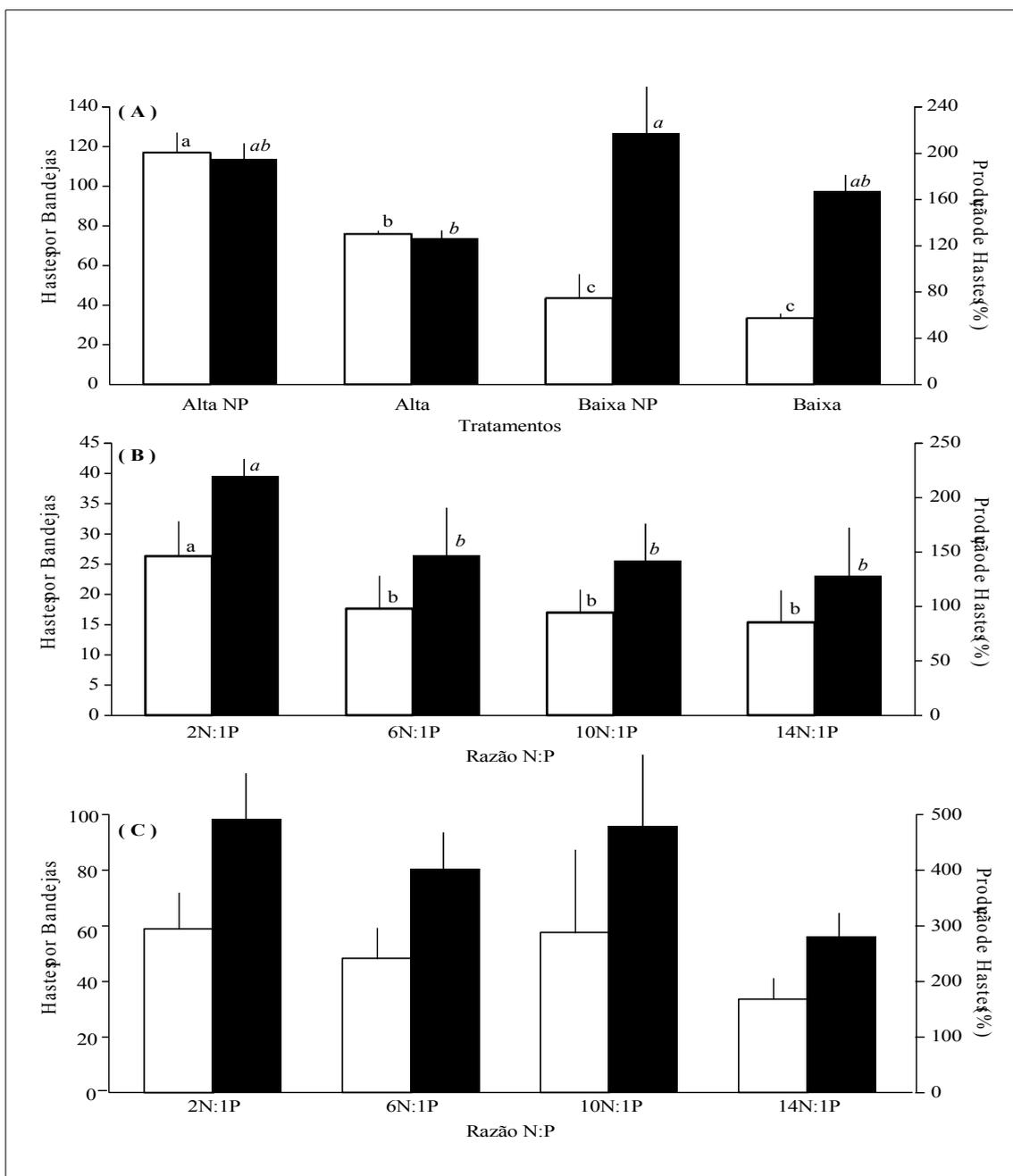


Figura 1. (A) Produção de hastes (perfilhos; média \pm erro-padrão) de *S. alterniflora* por bandeja com (NP) e sem adubação de nitrogênio e fósforo em baixa e alta densidade inicial de mudas após 80 dias de cultivo em 2009. Produção de hastes (perfilhos) de *S. alterniflora* (B) e *S. densiflora* (C) por bandeja em diferentes razões N:P após 120 dias de cultivo em 2011. Letras minúsculas diferentes entre barras brancas de valores

absolutos e pretas de percentuais (em itálico) indicam médias que diferem entre si pelo teste LSD.($p < 0,05$).

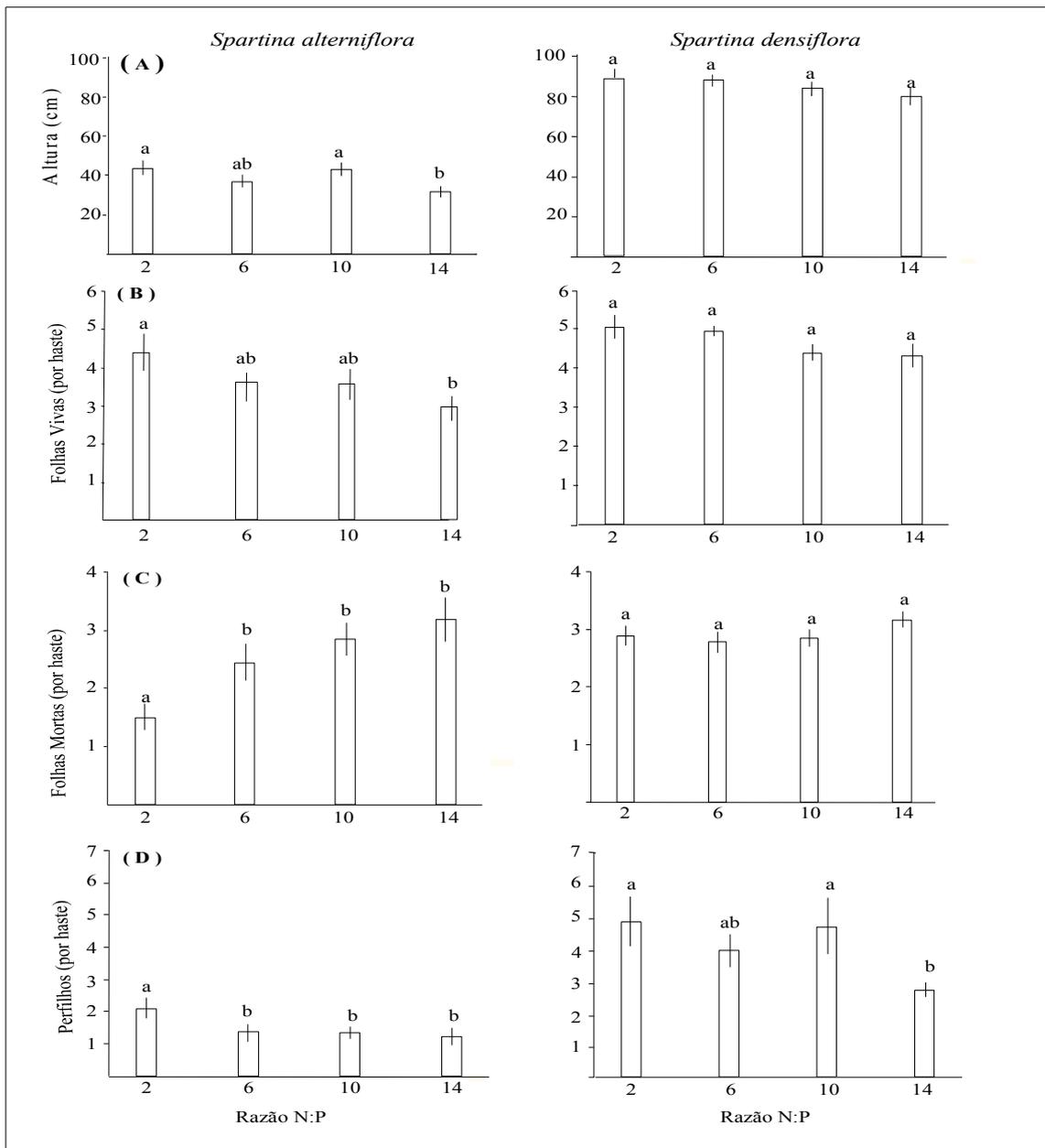


Figura 2. Máximo desempenho médio (\pm erro-padrões; 6 maiores plantas) da altura das hastes (a), números de folhas vivas (b), de folhas mortas (c) e de perfílios (d) produzidos por haste após 120 dias de cultivo de *Spartina alterniflora* e *Spartina densiflora* em diferentes razões N:P de adição de nutrientes. Letras minúsculas diferentes entre barras indicam médias que diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$).

CAPÍTULO II

Efetividade na reprodução de características estruturais de marismas naturais por marismas criadas em um estuário micromareal

Efetividade na reprodução de características estruturais de marismas naturais por marismas criadas em um estuário micromareal

RESUMO

O plantio de plantas bioengenheiras tem sido usado para criar novas áreas de marismas e mitigar perdas ou degradação de marismas naturais por ação antrópica ou de perturbações naturais. Existe muita incerteza quanto ao sucesso das marismas criadas na duplicação das condições naturais e o tempo requerido para o desenvolvimento destas. Neste estudo as principais condições edáficas, nutrientes intersticiais, composição da cobertura vegetal e da formação de biomassa pelas plantas foram avaliadas em quatro grupos de marismas criadas, naturais “jovens” (ambas formadas entre 1995 e 2006) e marismas naturais “maduras” (com mais de 50 anos), situadas no Saco do Arraial, na enseada da Coroa do Boi e no Saco da Mangueira, localizados no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). As amostragens foram realizadas durante o verão-outono 2012, sendo os grupos de marismas localizados em áreas com diferentes graus de contaminação por efluentes domésticos e industriais. Doze espécies de 8 famílias de angiospermas foram encontradas em 597 quadrados (0,5 x 0,5) observados. Todas marismas revelaram a presença de *S. alterniflora* nos pisos entremarés baixos e marismas maduras exibiram de 3 a 7 espécies. Análises de Agrupamento e de Correspondência (com matriz de correlação das coberturas visuais), diferenciou as marismas maduras da maioria das marismas criadas e jovens. As marismas amostradas eram sujeitas a frequências de alagamento de 8,0 a 83,8% do tempo. As marismas maduras foram mais altas no entremarés do que as criadas e jovens locais, bem como possuíam maiores teores de matéria orgânica (até 26,43%) e argilas (até 50%) no sedimento, além de menores teores de fosfato na água intersticial. Os resultados sugerem forte soerguimento orgânico e alto consumo de fósforo pela grande biomassa vegetal presente nas marismas maduras. A posição baixa no entremarés das marismas criadas dificulta o desenvolvimento de seus solos e resulta em redoxs positivos, devido ao batimento de ondas. Soerguimento orgânico (4-5% matéria orgânica), baixos redoxs (até -428 mV) e altos teores de N e P distinguem a parte mais continental de marismas jovens, na enseada eutrofizada Saco da Mangueira, das demais marismas jovens e criadas. Maiores formações de biomassas aéreas nestes pisos altos das marismas jovens

é possível pela maior disponibilidade de P em condições reduzidas.

ABSTRACT

The creation of salt marshes by transplantation of bioengineers plants has become a standard mitigation approach to losses or degradation of natural salt marshes by human activities or natural disturbances. Yet it is unclear to what extent created salt marshes can duplicate natural conditions and how much time is required for the development of self-sustaining marshes. In this study the main soil conditions, porewater nutrients, plant community composition and biomass formation were evaluated in salt marshes created by transplantation of *Spartina* grasses and nearby natural "youth" (both formed between 1995 and 2006) and "mature" (with over 50 years) marshes of four reference sites in the estuary of Patos Lagoon (RS). Samples were taken during the summer-autumn 2012 and the salt marshes groups (created and reference sites) were located in areas with different degrees of contamination by domestic and industrial effluents. Cluster Analysis and Correspondence Analysis, considering the correlation matrix of plant visual coverages, differentiated mature salt marshes from most of created and natural young marshes. The sampled marshes were distributed between -0.28 and +0.91 m MWL (mean water level) and were subject to flooding frequencies from 8.0 to 83.8% of the time. Mature marshes were higher in the intertidal zone than created and natural marshes, and the former had higher levels of organic matter (up to 26.43%) and clay (up to 50%) in the sediment, as well as lower phosphate levels in the porewater. The results suggest strong organic uplift and high phosphorus consumption by the large plant biomass present in mature marshes. The low position in the intertidal of created marshes refrains the development of their soils (low contents of fine grains and organic matter) and it allows positive redox potentials due to the direct contact with the breaking of the waves. The conditions of organic uplift (4-5% organic matter), low redox potentials (up to -428 mV) and high soil contents of N and P distinguished the upper zone of natural youth marshes from lower zone of young marshes and of created marshes at the eutrophic shallow bay of Saco da Mangueira. Higher shoot biomass production at the upper zone of natural youth marshes was fostered by increased P availability due to prevalent reduced conditions.

1. INTRODUÇÃO

Marismas são ambientes entremarés com sedimento inconsolidado recoberto por vegetação vascular herbácea. Estes ambientes cumprem funções vitais como sequestro de carbono, que pode ser acumulado nas estruturas orgânicas dos caules, raízes, rizomas e detrito acumulado na superfície e solo da zona entremarés, e a sustentação trófica dos ecossistemas costeiros, estabilização da costa e elo dos ciclos biogeoquímicos de vários elementos (Angelini *et al.*, 2011). Por todo o mundo a expansão agropecuária, urbanização e industrialização nas regiões costeiras têm levado à destruição e degradação das marismas (Zedler, 1992; Craft *et al.*, 1999). Adicionalmente, as mudanças climáticas e elevação relativa do nível do mar também têm acarretado em perdas deste ecossistema em várias partes do globo (Marangoni & Costa, 2009; Costa *et al.*, 2009, Curado *et al.*, 2013).

Para minimizar este problema marismas são criadas e/ou restauradas, com o objetivo de reproduzir as funções ecológicas e valores perdidos quando as mesmas são destruídas ou degradadas (Craft *et al.*, 1999; Chung, 2006). Plantios de marismas têm sido usados para redução da erosão da costa, como a de estabilizar o material de dragado, a mitigação das perdas de marismas por derramamento de óleo e desenvolvimento urbano (Craft *et al.*, 1999; Castillo *et al.*, 2008; Mendonça & Costa, 2008). A criação de novas marismas baseia-se no fato que estes ambientes são estruturas biogênicas, apenas existindo pelo sucesso de algumas poucas espécies fundadoras em construir e manter seus habitats (Bertness, 1999; Angelini *et al.*, 2011; Costa, 2011a). As folhas e hastes das plantas das marismas reduzem o fluxo das correntes e favorecem a deposição do material em suspensão na água de alagamento. A cobertura vegetal e as densas redes de rizomas e raízes das plantas dominantes previnem a ação remobilizadora das ondas sobre os sedimentos, impedindo as erosões das margens. Gramíneas do gênero *Spartina* têm sido mais comumente usadas nesta atividade de criação e restauração, através do transplante de seus propágulos (Broome *et al.*, 1983; Darnell & Smith, 2002; Mendonça & Costa, 2008).

O objetivo fundamental da criação de uma marisma ou qualquer outro ambiente natural é produzir um ecossistema capaz de automanutenção com uma gama de funções

e valores, bem como resiliência e adaptabilidade (Darnell & Smith, 2002; Whisenant, 2005). Entretanto existe muita incerteza quanto ao sucesso das marismas criadas em reproduzir características estruturais e funções ambientais, bem como se a duplicação das condições naturais do processo de colonização pode ou não aumentar o sucesso do desenvolvimento destes ecossistemas (Zedler & Callaway, 2000; Darnell & Smith, 2002; Chung, 2006; Mossman *et al.*, 2012). Características estruturais tais como a granulometria do sedimento, altura topográfica, riqueza de espécies vegetais, cobertura vegetal e biomassas de copa e raízes, são determinantes de funções ecológicas desempenhadas pelas marismas de disponibilidade de habitats, sustentação trófica da fauna e controle dos ciclos biogeoquímicos na região estuarino-costeira. A falta de modelos preditivos do desenvolvimento de marismas em grande parte deve-se à falta de monitoramento extensivo de marismas em formação, bem como muitas vezes os responsáveis práticos pelos projetos de restauração não publicam seus resultados (Zedler & Callaway, 1999; Mossman *et al.*, 2012). As marismas são espacialmente heterogêneas e fisicamente dinâmicas, respondendo rapidamente a trocas ambientais. Consequentemente, para sabermos a efetividade dos projetos de restauração/criação de marismas são necessárias múltiplas localidades de referência e este enfoque tem sido raramente empregado (Zedler & Callaway, 2000; Mossman *et al.*, 2012).

Marismas criadas ou restauradas com *Spartina alterniflora* Loisel frequentemente atingem a equivalência em relação à formação de biomassa com as marismas naturais dentro de quatro estações de crescimento (Broome *et al.*, 1986) ou 5 a 10 anos após o estabelecimento (Craft *et al.*, 1999). No entanto, a total restauração dos atributos ecológicos (produção secundária, diversidade de espécies/habitat e as características do solo) não ocorre dentro da primeira década e não existem estudos de longo termo para documentar o comprimento de tempo requerido para atingir a completa restauração de marismas dependente de funções e valores (Craft *et al.*, 1999). Mundialmente a efetividade da criação de novas áreas de marismas e a comparação da funcionalidade destas unidades com sistemas naturais tem sido efetuadas para orientar projetos de realinhamento da costa em relação ao crescente nível médio relativo do mar (Adam, 2002; Darnell & Smith, 2002; Whisenant, 2005; Mossman *et al.*, 2011).

No sul do Brasil, a criação de novas áreas de marismas tem sido adotadas como

práticas de manejo para manutenção destas unidades ambientais e de suas funções para a qualidade de vida do estuário da Lagoa dos Patos. As gramíneas rizomatosas perenes *Spartina alterniflora* Lois. e *Spartina densiflora* Brong. são plantas nativas dominantes das marismas do estuário e espécies fundadoras utilizadas em projetos de restauração (Costa *et al.*, 1997; Costa, 1998; Costa 2011a, b). O primeiro transplante neste estuário foi um plantio misto de propágulos vegetativos das duas espécies citadas acima, realizado no inverno de 1995 na localidade da Ilha da Pólvora, com um espaçamento de 1 m entre plantas, que gerou o recobrimento de 100 m² (Costa & Marangoni, 1997; Costa, 2011a). Outros três transplantes utilizando o mesmo espaçamento mas apenas propágulos vegetativos de *Spartina alterniflora*, foram realizados no entorno da enseada protegida do Saco da Mangueira em maio de 2005, outubro de 2006 e dezembro de 2006, recobrando áreas de, respectivamente, 100 m², 1120 m² e 540 m² (Mendonça & Costa, 2008; Costa, 2011a, 2011b) (**Tabela 1**). Estas marismas criadas foram estabelecidas em áreas com diferentes graus de eutrofização, devido ao afastamento (Ilha da Pólvora) e proximidade (marismas no Saco da Mangueira) de pontos de despejo de esgotos urbanos e industriais (Baumgarten *et al.* 2001; Marangoni & Costa, 2010). A disponibilidade local de nutrientes pode ser um fator determinante do desenvolvimento da vegetação e conseqüentemente afetar a estrutura das marismas criadas.

Este estudo visou avaliar similaridades e diferenças nas características estruturais de marismas criadas pelo plantio de gramíneas bioengenheiras e marismas naturais de referência no estuário da Lagoa do Patos (RS), através da comparação das condições edáficas, nutrientes intersticiais, composição da cobertura vegetal e da formação de biomassa pelas plantas, tanto aérea como subterrânea. São testadas as hipóteses que: (1) Entre áreas eutrofizadas e não eutrofizadas do estuário as marismas criadas pelo plantio de *Spartina alterniflora* e *Spartina densiflora* em um estuário micromareal reproduzem eficientemente as características estruturais de marismas jovens colonizadas naturalmente por estas espécies; (2) o desenvolvimento estrutural destas marismas e de marismas maduras, com pelo menos 50 anos de estabelecimento, varia entre áreas mais expostas e protegidas do estuário.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Localização da área de estudo

No sul do Brasil, as marismas ocupam 70 km² do estuário da Lagoa do Patos e representam 93% deste ambiente no estado do Rio Grande do Sul (Costa *et al.*, 1997; Marangoni & Costa, 2010). O estuário da Lagoa dos Patos tem como características marcantes a ausência expressiva de marés astronômicas, com máximas amplitudes de cerca de 0,45 m, grande influência do ciclo hidrológico regional e do regime de ventos sobre a sua hidrodinâmica (Hartmann, 1996; Seeliger & Costa, 1998; Costa & Marangoni, 2010). Estes fatores determinam a variação do nível das águas, a circulação e a salinidade do estuário (Hartmann, 1996). As ondas de baixa altura (0,20 m) e período curto (1 a 5 segundos) formadas por ventos do quadrante SW-NW ou NE-SE são os principais responsáveis por processos erosivos, através do empilhamento da água (Marangoni & Costa, 2009). Ventos NE (velocidade média de 5 m/s) são dominantes durante quase todo o ano (22,3% do tempo), devido a ação do anticiclone do Oceano Atlântico Sul. Ventos dos quadrantes S-SE (7,4% do tempo com velocidade média de 8 m/s) são mais comuns no inverno associados a passagem de frentes frias (Hartman & Vieira, 2008). A ação de ondas sobre a margem do estuário tem uma maior força erosiva nos invernos chuvosos, quando o aumento da descarga da bacia de drenagem da Lagoa dos Patos e conseqüentemente aumento do nível da água, permitem que as ondas alcancem as marismas com grande energia (Costa *et al.*, 2003; Marangoni & Costa, 2009).

O presente estudo engloba marismas no entorno da península da cidade do Rio Grande, RS (32° 01' S; 52° 06' W), localizadas no estuário inferior (**Figura 1**). A Ilha da Pólvora está localizada na enseada do Saco do Arraial e possui 45 hectares. Com pouco impacto antrópico, possui fisiografia suave, atingindo uma altura máxima de 0,60 m acima do nível médio da laguna (Costa *et al.*, 1997; Azevedo, 2000, Costa *et al.*, 2003). A enseada da Coroa do Boi situa-se na porção sudeste da península, possui uma profundidade média de 0,8 m e recebeu durante 80 anos (até o primeiro semestre de 2005) o efluente doméstico não tratado de 20.000 residências através de um emissário (Baumgarten *et al.* 1998). Foi considerada área crítica de contaminação por matéria orgânica, fosfatados e nitrogenados, com a fauna bentônica severamente impactada,

principalmente devido aos baixos teores de oxigênio dissolvido e altas concentrações de amônio junto ao sedimento (Almeida *et al.*, 1993). Na parte sul da península localiza-se a enseada protegida do Saco da Mangueira, que possui uma área total de 23 km² e extensão de 11 km em seu eixo longitudinal, que recebe efluentes domésticos, cloacais e industriais (Almeida *et al.*, 1993; Baumgarten *et al.* 1998, 2001).

2.2 - Coleta de dados nas marismas naturais e criadas

No verão-outono de 2012 (entre fevereiro e junho), a estrutura da comunidade vegetal e a produção de biomassa foram avaliadas em quatro grupos de marismas de origem criadas, naturais “jovens” (idades semelhantes às marismas criadas entre 1995 e 2006) e marismas naturais “maduras” (com mais de 50 anos em registros aerofotográficos) no estuário da Lagoa dos Patos. Cada grupo de marismas possuía uma marisma de cada categoria de origem (criada; jovem e madura) e os grupos localizaram-se no entorno da península da cidade do Rio Grande, respectivamente, na Ilha da Pólvora (Local 1: IP), na enseada Coroa do Boi (Local 2: Santa Teresa = ST) e na enseada do Saco da Mangueira (Local 3: Lar Gaúcho = LG e Local 4: Junção = JU) (**Tabela 1, Figura 1**). As marismas criadas (C1, C2, C3 e C4), jovens naturais (J1, J2, J3 e J4) e maduras (M1, M2, M3 e M4) foram escolhidas a partir de dados de mapeamentos das marismas sobre imagens do estuário obtidas entre 1947-2000 (Costa *et al.*, 1997; Marangoni & Costa, 2009) bem como imagens recentes Google Earth ®. Em cada marisma efetuaram-se quatro transversais com 15-48 m de comprimento perpendiculares a margem, a partir da linha d'água, afastadas 10 m entre si. Os diferentes comprimentos das transversais foram devido a extensão local de cada marisma.

A altura topográfica de cada marisma foi relacionada com o nível médio da Lagoa para a década anterior (2001-2011) (NML), através de medidas simultâneas do nível de água nas marismas e no ponto de monitoramento hidrológico do programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração-PELD (www.peld.furg.br), localizado de 1,5 a 7 km dos locais de amostragem. A curva da frequência de alagamento em diferentes níveis do piso entremarés do período 2001-2011 demonstrou um ótimo ajuste a um polinômio de terceira ordem ($r^2 = 0,98$), e esta equação foi utilizada para calcular a frequência de

alagamento para a altura média de cada marisma.

2.2.1 - Características sedimentológicas e da água intersticial

Em cada transversal foram selecionados um quadrado na parte inferior da marisma (próxima ao estuário, 5 m após o início da marisma) e um quadrado na parte superior (próxima ao continente, 5 m antes do final da transversal), onde parâmetros físico-químicos do sedimento e da água intersticial foram quantificados. Portanto, em cada marisma oito quadrados foram amostrados, excetuando-se a marisma criada da localidade Junção (Local 4) que não possuía um quadrado em área alta do entremarés.

Em cada quadrado foram obtidas amostras de sedimento superficial (0-10 cm) para análise granulométrica e amostras de água intersticial. A análise sedimentológica foi constituída de peneiramento das frações de areia da escala Wentworth seguido de pipetagem das frações de silte (0,005 a 0,062 mm) e argilas (< 0,005 mm) (Suguió, 2003), sendo o teor de matéria orgânica estimado por combustão dos sedimentos à temperatura de 500°C em mufla, por um tempo de 6 horas (Brower & Zar, 1977).

A água intersticial foi coletada com auxílio de uma bomba à vácuo e acondicionada em frascos plásticos devidamente identificados. Em seguida foram depositados em caixa de isopor e resfriados até a chegada no laboratório, quando então foram analisadas. Todas as coletas seguiram o mesmo procedimento, e erros de precisão dos valores de variáveis da água intersticial mais sensíveis a exposição a atmosfera (como Redox e nitrogênio amoniacal) foram semelhantes para todas as coletas, permitindo a avaliação de diferenças relativas entre pontos amostrais e datas de coleta. Parte das amostras foram reservadas para decantar por 15 minutos e após, o sobrenadante separado e dosado o potencial Redox, condutividade, pH e salinidade. Uma segunda alíquota das mesmas amostras foi filtrada num sistema de filtração à vácuo, com a utilização de filtro microfibras de vidro GF/5 47 mm (da marca Macherey Nagel) e congelada, para posterior análise da detecção dos nutrientes fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. Posteriormente, as amostras foram descongeladas, diluídas na proporção de 10 ml de amostra diluídos em 90 ml de água destilada. Os teores de nitrogênio amoniacal, nitrito e fosfato foram estimados por espectrofotometria. As leituras das absorbâncias foram feitas em um espectrofotômetro UV-Vis Cary Variam.

Para a análise do nitrato as amostras passaram em colunas redutoras de cádmio, em seguida houve a leitura das absorvâncias no espectrofotômetro (i.e., abaixo de $0,01 \mu\text{M}$ e $0,005 \mu\text{M}$ em cubeta de 10 cm de trajeto ótico, respectivamente para nitrito e nitrato). As análises dos nutrientes seguiu toda a metodologia descrita por Baumgarten *et al.* (1996). Concentrações foram expressas em teores de nitrogênio para nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato e como teores de fósforo para fosfato.

2.2.2 - Avaliação da cobertura vegetal

Todas as transversais foram georreferenciadas e a cada 2 m percorridos na transversal, a altura topográfica (nível laser), a identidade (posteriormente contabilizado em número de espécies = NSP) e cobertura visual (CV) da copa de cada espécie de planta (projeção horizontal da copa por uma observação em ângulo reto com a superfície) foram estimadas em quadrados de 0,5 m X 0,5 m. A cobertura visual de cada espécie foi estimada com valores de 1 a 100%, sendo estes valores posteriormente convertidos para uma escala de oitava [$\log_2(\text{cobertura})$] para maior precisão (Gauch, 1984).

2.2.3 - Caracterização da biomassa vegetal

Em cada quadrado de 0,5 x 0,5 m das marismas, a biomassa vegetal aérea foi coletada através de corte com tesoura e a biomassa vegetal subterrânea coletada em um testemunhador de 5 cm de diâmetro e 10 cm de profundidade, posicionado no centro do quadrado onde a biomassa vegetal aérea foi retirada. No laboratório, as amostras de biomassa foram limpas e separadas em biomassa aérea (BA= viva+morta), bem como a biomassa subterrânea (BS= raízes+rizomas). Todas as amostras foram secas em estufa a 60°C por 48 horas e pesadas ($\pm 0,1\text{mg}$). A proporção de biomassa total alocada para biomassa subterrânea (PBS) foi estimada pela divisão de BS pela biomassa total (BT= BA+BS) e multiplicada por 100. Os valores de biomassa aérea foram transformados em g/m^2 através de cada valor multiplicado por (1/0,25) e os valores de biomassa subterrânea convertidos à g/m^2 pela divisão de cada valor por 0,0079.

2.3 - Análises de Dados

A porcentagem da cobertura vegetal das plantas presentes (CV) em cada uma das doze marismas foi estimada e CVs convertidos para uma escala de oitava [$\log_2(\text{cobertura})$]. A matriz de similaridade de Pearson entre as CVs transformadas das plantas das doze marismas foi utilizada para uma Análise de Agrupamento das marismas. O dendrograma final foi construído com o método de WPGMA (Romesburg, 1984). CVs das espécies também foram utilizados como atributos em uma Análise de Correspondência (CA) e posterior ordenação das marismas e das espécies vegetais nas duas principais componentes da CA (Gauch, 1984; Manly, 1986).

A hipótese de diferenças entre marismas quanto aos valores médios dos componentes da biomassa, características sedimentológicas e da água intersticial foi testada através de Análises de Variância Trifatorial (Zar, 2010). Cada ANOVA considerou como fatores fixos a origem da marisma (criada, jovem ou madura), a localização da marisma no estuário (1= Ilha da Pólvora; 2= Santa Teresa; 3= Lar Gaúcho; 4= Junção) e a altura do piso entremarés dentro da marisma (parte baixa e parte alta). Foram incluídos os fatores interações de segunda ordem entre origem, locais e piso entremarés na marisma. Interações de terceira ordem não foram incluídas no desenho experimental das ANOVAs devido à complexidade de interpretação. Para as variáveis quantificadas foram realizados os testes de Normalidade Kolmogorov-Smirnov e de Homocedasticidade (Cochran C., Hartley e Bartlett), ambos a 5% de significância, como requisito para as análises estatísticas paramétricas (Zar, 2010). As variáveis medidas sofreram transformações matemáticas, quando necessário, para satisfazer os requisitos de normalidade e homocedasticidade. As variáveis BS, BT, BA, PBS, CV, areia, condutividade, pH, potencial Redox e salinidade foram transformadas através da função matemática $\text{Log}_{10}(x)$. Já as variáveis número de espécies, silte, argila, matéria orgânica, fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato foram transformadas pela função matemática $\text{Log}_{10}(x+1)$.

Adicionalmente, a hipótese de distinção das marismas quanto a sua origem e localidade de ocorrência a partir da combinação linear dos parâmetros estruturais (características sedimentológicas, da água intersticial e biomassa vegetal) foi testada através de Análise de Discriminante (Manly, 1986; Costa *et al.*, 1996; Isaach *et al.*,

2006). As variáveis foram introduzidas na análise transformadas pelas mesmas funções aplicadas para as ANOVAs. Análise preliminar demonstrou alta correlação significativa entre BS e BT ($r= 0,83$), sendo esta última variável não utilizada na análise de forma a prevenir a colinearidade entre os atributos. O método de introdução das variáveis foi o passo a passo “forward” e a cada passo a discriminação das doze marismas foi avaliada através da significância ($p < 0,05$) da distância quadrada de Mahalanobis (Manly, 1986). Variáveis significantes foram representadas em diagramas de dispersão contra as funções discriminantes com que apresentaram melhor correlação.

3. RESULTADOS

3.1 - Características sedimentológicas e da água intersticial

Os sedimentos das marismas do Estuário da Lagoa dos Patos apresentaram uma marcada variação granulométrica, associada principalmente à localização da marisma e entre os pisos da zona entremarés (**Tabela 3; Figura 3**). A principal fração sedimentar encontrada é das areias, sendo estas predominantemente areias finas (0,125-0,062 mm). A fração areia foi o único dos componentes granulométricos que apresentou diferenças significativas quanto ao fator origem da marisma ($FO = 3,94$; $p < 0,005$), onde maiores frações foram observadas na marisma criada C2 e menores teores na marisma criada C1.

A localização e a altura na zona entremarés explicaram juntas 13% da variação da fração areia entre amostras (**Tabela 3**). Exceto pela marisma criada C2, maiores teores de fração areia foram observados nos pisos baixos ($F_A = 14,42$; $p < 0,001$) nas marismas maduras (80,1 a 94,6%), jovens (65,5 a 92,5%) e criadas (65,1 a 93,8%) (**Figura 3**). Um maior teor de areia no piso alto (81,7%) da zona entremarés da marisma criada C2 do que do piso baixo (72,0%) foi determinante para a interação origem x altura ($F_{OxA} = 4,92$; $p < 0,05$). A localização ($F_L = 4,87$; $p < 0,001$) e a interação local x origem ($F_{LxO} = 4,26$; $p < 0,001$) também influenciaram de forma significativa os teores de areia. As marismas maduras M1 e M2 apresentaram sedimentos mais arenosos do que as marismas jovens J1 e J2, enquanto que nas localidades 3 e 4 os sedimentos foram semelhantes nestes dois tipos de marismas.

A altura do piso na zona entremarés foi também o principal determinante dos teores de silte ($F_A = 15,29$; $p < 0,001$) e de argila ($F_A = 11,17$; $p < 0,001$), ocorrendo um

padrão inverso do observado para as areias, com maiores teores destes finos nos pisos altos (**Figura 3; Tabela 3**). Entretanto, este padrão geral não foi observado nas marismas criadas que mostraram teores de siltes e argilas semelhantes em ambos os pisos entremarés (interação origem x altura significativa para silte; $F_{OxA} = 4,49$; $p < 0,05$). Os teores de siltes foram significativamente maiores ($F_L = 3,82$; $p < 0,05$) em 3 e 4 do que em 1, bem como os de argilas em 3 e 2 foram maiores ($F_L = 3,24$; $p < 0,05$) do que 4. Adicionalmente, foram observados altos valores de argilas (até 50% do peso do sedimento) em marismas jovens (J1 e J2) fora do Saco da Mangueira, enquanto nas marismas dentro do Saco da Mangueira os maiores teores de argilas ocorreram nas marismas maduras M3 e M4 ($F_{LxO} = 3,61$; $p < 0,001$). Cumpre destacar que para argilas, como para as areias, a interação local x origem foi o principal fator de explicação de variação entre as marismas contabilizando cerca de 12% da variação total (**Tabela 3**). Consequentemente, o desenvolvimento sedimentar dentro e fora da enseada protegida do Saco da Mangueira demonstrou ser bem distinto.

O teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial das marismas apresentou um comportamento espacial diferente das frações granulométricas (**Figura 3**). As marismas maduras apresentaram teores médios de MO significativamente maiores (teste Tukey, $p < 0,05$) do que das marismas criadas (**Figura 3**), sendo que as marismas jovens apresentaram valores intermediários. O principal componente da variação explicada foi o fator localização no estuário (que contabilizou 8% da variação total; **Tabela 3**). Os teores de MO foram significativamente maiores ($F_L = 4,11$; $p < 0,05$) no local 3 do que em 1 e 4, sendo a média de MO do piso alto da marisma madura M3 (26,4%) quatro vezes maior do que os valores observados nas demais marismas (**Tabela 3; Figura 3**). Contrastantemente, médias significativamente maiores de MO foram observadas nos pisos baixos das marismas ($F_A = 7,27$; $p < 0,05$) especialmente em todas as marismas do local 2.

3.2 - Nutrientes intersticiais

As concentrações intersticiais de nitrito e nitrato foram pequenas e com várias amostras com teores abaixo do limite de detecção (**Tabela 4**). O maior valor observado de nitrito foi na marisma criada C4 (0,024 mg/L). O nitrato apresentou valores médios

detectáveis observados na marisma criada C1 (0,008 mg/L) e nas marismas maduras M2 (0,028 mg/L) e M3 (0,364 mg/L). Nas demais marismas, os valores de nitrato estiveram abaixo do nível detectável.

Os teores de fosfato e nitrogênio amoniacal apresentaram uma grande variação entre as marismas (**Tabela 4**). A análise do fosfato mostrou que o local (FL = 8,67; $p < 0,001$) teve a maior influência sobre sua ocorrência, além da origem (FO = 7,64; $p < 0,001$), altura (FA = 7,51; $p < 0,001$) e a interação origem x local (FOxL = 4,35; $p < 0,001$) que também contribuíram para a sua distribuição (**Tabela 5**). As marismas da localidade 1 apresentaram os menores teores de fosfato (0,001 mg/l) do que as demais marismas. Os maiores teores de fosfato foram encontrados nas marismas jovens J3 (1,61 mg/l) e J4 (2,18 mg/l), além da criada C2 (1,98 mg/l). Em relação à altura do piso entremarés, todos os pisos baixos mostraram semelhanças entre si na distribuição de fosfato.

O nitrogênio amoniacal mostrou que sua distribuição estava fortemente relacionada com a origem (FO = 36,87; $p < 0,001$) e suas interações com local (FOxL = 6,28; $p < 0,001$) e altura (FOxA = 3,89; $p < 0,05$). Isoladamente também foram significativos os fatores local (FL = 5,61; $p < 0,001$) e altura (FA = 4,51; $p < 0,05$) (**Tabela 5**). A localidade 1 mostrou teores menores do que os demais locais 2, 3 e 4 (**Tabela 4**). No nitrogênio amoniacal maiores teores ocorreram progressivamente nas marismas naturais jovens J2 (5,44 mg/L), J3 (6,93 mg/L) e J4 (14,61 mg/L). Todas as marismas criadas apresentaram proporções de nitrogênio amoniacal semelhantes entre si em ambos os pisos e ocorreram semelhanças com as marismas naturais maduras baixas (**Tabela 4**).

3.3 - Salinidade, condutividade, pH e potencial redox da água intersticial

A salinidade mostrou estar fortemente relacionada com a localização da marisma (FL = 39,04; $p < 0,001$), sua origem (FO = 20,12; $p < 0,001$) e com a interação origem x local (FOxL = 7,58; $p < 0,001$) (**Tabela 6 e 7**). Juntos, estes 3 fatores explicaram 71,85 % da variação da salinidade entre as marismas. Assim, as maiores médias foram observadas nas marismas criada C1 ($32,6 \pm 2,5$), madura M1 ($31,3 \pm 3,1$; valores máximos respectivamente: 40 e 38) e criada C3 ($29,0 \pm 0,9$; valor máximo: 34) e as

menores médias nas marismas jovens J2 ($8,6 \pm 1,6$; valor mínimo: 4) e J4 ($16,0 \pm 4,0$; valor mínimo: 4). As marismas criadas assemelharam-se às suas respectivas marismas jovens e maduras naturais de referência.

A origem x local (FOxL= 12,16, $p < 0,001$), a origem da marisma (FO= 9,78; $p < 0,001$), a altura do piso entremarés (FA= 4,11; $p < 0,05$) e o local (FL= 3,18; $p < 0,05$) influenciaram a condutividade (**Tabela 7**). Maiores médias foram observadas nas marismas maduras M2 ($58,7 \pm 3,5$ dS/m) em seu piso entremarés baixo e em M4 ($51,8 \pm 3,6$ dS/m). As menores médias foram avistadas em J2 ($25,3 \pm 4,1$ dS/m) e o menor valor foi encontrado no piso entremaré alto em C4 (11,4 dS/m). Os pisos entremarés baixos das marismas criadas mostraram semelhanças com os pisos baixos e altos das marismas naturais jovens e maduras de referência. Em áreas com águas de maior salinidade, a condutividade mostrou-se linearmente relacionada a salinidade de forma positiva (**Figura 4**). Nas marismas J2 e M2, J4 e M4, com águas com menor salinidade, valores mais altos de condutividade do que os esperados por estequiometria foram observados indicando um marcante aporte de íons (**Figura 6**).

A origem (FO= 3,72; $P < 0,05$) e o local (FL=3,17; $p < 0,05$) também foram os principais responsáveis pelas variações do pH entre as marismas (**Tabela 7**). Maiores médias de pH foram observadas nas marismas criadas C4 ($7,8 \pm 0,2$), C2 ($7,2 \pm 0,0$) e C1 ($7,2 \pm 0,6$). Menores médias de pH foram observadas em marismas maduras M1 ($6,2 \pm 0,2$), M2 ($6,5 \pm 0,2$) e M3 ($6,6 \pm 0,4$), na marisma M3 foi registrado o valor mais ácido de pH (5,50).

A origem (FO= 6,16; $p < 0,001$) e o local (FL= 5,27; $p < 0,001$) foram responsáveis por 21% da variação de potencial Redox observada entre as marismas. Com influência menos acentuada, a altura do piso entremaré (FA= 7,29; $p < 0,05$) e a interação local x altura (FLxA= 3,16; $p < 0,05$) também contribuíram para as variações do potencial Redox (Tabela 7). O potencial Redox apresentou as menores médias nas marismas jovens, algumas sendo bem negativas como em J3 ($-202,2 \pm 107,8$ mV), ou valores mínimos (J3= -410,0 mV), em J4 (-428,0 mV) e J2 (-335,0 mV), todas médias mais baixas foram registradas em pisos entremarés altos. Marismas com maiores médias de potencial Redox positivos foram observados nas marismas maduras M2 ($154,7 \pm 32,5$ mV) e M3 ($125,2 \pm 27,0$ mV). As marismas criadas C1, C2, C3 e C4 apresentaram

semelhanças de valores de potencial Redox entre si.

3.4 - Fisiografia e cobertura vegetal

Foram avaliados 597 quadrados ao longo das transversais nas doze marismas estudadas. As áreas amostradas distribuíram-se entre -0,28 m e +0,91 m NML e a frequência de alagamento no nível médio das marismas variou de 8,0 a 83,8% do tempo (respectivamente, nas marismas M3 e C3; **Tabela 1**). Adicionalmente, as 4 marismas criadas C1, C2, C3 e C4 apresentaram diferenças bem marcadas em seus níveis topográficos médios e frequências de alagamento, bem como nem sempre as marismas maduras foram mais altas no piso entremarés do que as marismas criadas e jovens locais. Esta situação foi visualizada em M4, com altura topográfica média de 0,01m NML e frequência de alagamento de 50 %.

Doze espécies de angiospermas pertencentes a 8 famílias vegetais foram encontradas (**Tabela 2**). Dentro da faixa entremarés avaliada, *S. alterniflora* apresentou maiores frequências de ocorrência (62-100%) e CV média (20,5 e 54,0%) em todas marismas. No Saco do Arraial, a marisma C1 da Ilha da Pólvora possui *S. alterniflora* e *S. densiflora* em sua cobertura. A marisma C2 foi estabelecida em 2006 através do plantio de 540 mudas de *S. alterniflora*, recobrindo um banco areno-lodoso na zona entremarés, formado pela deposição do sedimento dragado do Cais do Porto Novo sobre o sedimento existente no local. Na enseada do Saco da Mangueira, encontramos as marismas criadas C3 e C4, ambas compostas por *S. alterniflora*, embora C4 tenha mais 2 espécies. Nesta marisma C4 foram frequentes a ciperácea *Scirpus maritimus* (48%) e a convolvulácea *Ipomoea cairica* (16%; **Tabela 2**). Todas as marismas jovens apontaram *S. alterniflora* em seus pisos baixos, com CV variando de 16 (J1) a 46% (J4) (**Tabela 2**). Apenas J2, J3 e J4 ostentaram mais de uma espécie e exibiram ciperáceas em seus pisos altos, CVs = 20,3 e 28% respectivamente. Ainda na marisma J4 também estiveram presentes *Aster squamatus* (CV= 0,2) e *Atriplex hastata* em seus pisos entremarés altos (CV=6,0) (**Tabela 2**). Marismas maduras exibiram o maior número de espécies, desde 3 (M4) a 7 (M2) espécies e todas revelaram a presença de *S. alterniflora* em seus pisos entremarés baixos (**Tabela 2**). As demais espécies encontradas *S. densiflora*, *Scirpus maritimus*, *Stigmaphyllon litorale* e as anuais *A. hastata*, *Juncus kraussii*, *Scirpus*

olneyi, *Rumex paraguayensis*, *Pluchea sagittalis*, *Senecio tweediei* ocorreram em seus pisos mais altos, algumas com CVs expressivas como *S. densiflora* em M1 (CV=18%) e *S. maritimus* em M2 (CV=26,8) (**Tabela 2**).

A matriz da correlação de Pearson entre CVs médias das plantas encontradas nas transversais mostrou associações positivas ($r= 0,45-0,95$) significativas ($p < 0,05$) entre *S. alterniflora*, *A. hastata* e *S. olneyi*, que caracterizaram pisos entremarés mais alagados, bem como entre *S. densiflora*, *S. tweediei* e *A. squamatus*, frequentes na parte superior das marismas maduras. A Análise de Agrupamento utilizando como atributos as correlações entre CVs das plantas caracterizou dois grupos com correlações médias intragrupo maiores do que 60% ($1-r < 0,40$) (**Figura 2A**). O primeiro grupo englobou a maioria das marismas maduras (M1, M2 e M3) além de C4 e J2. O segundo grupo incluiu a maioria das marismas criadas e jovens além de M4.

A Análise de Correspondência (CA) detectou uma diferença significativa das CVs entre as marismas das diferentes localidades e origens ($\text{Chi}^2=155.1$, $\text{gl}=121$ $p=0,02012$). As duas primeiras dimensões da análise contabilizaram 63% da variação total, sendo a primeira negativamente correlacionada com *S. olneyi* ($r= -0.93$) e *A. hastata* ($r= -0,80$), e a segunda positivamente correlacionada com *S. densiflora* ($r= 0,61$) e *Senecio tweediei* ($r=0.37$) (**Figura 2B**). CA corroborou a diferenciação da cobertura vegetal entre marismas maduras e criadas-jovens (**Figura 2B**), determinada principalmente pela maior cobertura de espécies de piso entremarés superior nas marismas maduras. Adicionalmente, a CA diferenciou as coberturas das marismas da localidade 4 por uma maior abundância de *S. olneyi* e *A. hastata* (J4 e M4) ou de *I. cairica* (C4).

3.5 - Composição da biomassa

Dentro dos quadrados amostrados de biomassa, foram coletadas as plantas de *S. alterniflora*, *S. densiflora*, *S. olneyi*, *S. maritimus*, *S. tweediei*, *P. sagittalis*, *S. litorale*, *J. kraussii* e *A. hastata*, ocorrendo a dominância de *S. alterniflora*.

A maior parte da biomassa vegetal nas marismas está concentrada nos rizomas e raízes (**Figura 5**). Os resultados das ANOVAs demonstraram uma grande variação espacial de todos os componentes da biomassa entre as marismas naturais e criadas do

estuário da Lagoa dos Patos (**Tabela 8**). A altura do piso é o principal fator determinante da BT ($F_A = 56,80$; $p < 0,001$) e BS ($F_A = 49,11$; $p < 0,001$), ocorrendo maiores biomassas no piso entremarés alto. Este padrão espacial da biomassa é mais acentuado nas marismas maduras (BT $F_{OXA} = 16,71$; BS $F_{OXA} = 8,54$; $p < 0,001$), que possuem maiores médias de BT ($F_O = 15,37$; $p < 0,001$) e BS ($F_O = 7,60$; $p < 0,001$) sendo que marismas criadas não diferenciaram das jovens. Juntos altura e a interação origem x altura explicam de 22,0 a 23,3% da variação destes dois componentes da biomassa (**Tabela 8**). As médias de BT das marismas maduras baixas e altas variaram, respectivamente, entre 1.363 e 3.640 g/m² e entre 6.727 e 15.798 g/m², bem como as médias de BS nestas marismas variaram de 480 a 2.084 g/m² e de 5.147 a 13.970 g/m² (**Figura 5**).

Quanto a localização no estuário, de forma geral, as marismas dentro do Saco da Mangueira tiveram BT e BS maiores do que as marismas das localidades 1 e 2. A média de BT das marismas 4 foi maior ($F_L = 3,00$; $p < 0,05$) do que das marismas 1, e uma interação local x altura significativa ($p < 0,001$) resultou de maiores BT nos grupos 3 e 4 no piso baixo do que em 1 (**Tabela 8, Figura 5**). A média de BS das marismas 3 foi menor ($F_L = 4,19$; $p < 0,05$) do que das marismas 2, sendo que uma interação origem x local significativa ($p < 0,05$) mostrou que estas diferenças são mais acentuadas nas marismas jovens.

O principal fator influenciando PBS foi a localização da marisma no estuário ($F_L = 7,28$; $p < 0,001$) e, quando este fator é considerado, marismas de diferentes origens apresentaram respostas distintas ($F_{OxL} = 3,75$; $p < 0,001$). Juntos localização e interação origem x local explicam 23,1% da PBS nas marismas do estuário (**Tabela 8**). Fora do Saco da Mangueira, as marismas J1 e J2 apresentaram PBS médias significativamente maiores do que das marismas M1 e M2 (**Figura 5**), enquanto dentro do Saco da Mangueira não ocorreram diferenças entre J4 e M4 ou a PBS da marisma M3 foi maior do que da J3. De forma geral, as PBS no piso entremarés alto foi maior do que no piso baixo ($F_A = 5,50$; $p < 0,05$).

A maior parte da variação explicada da biomassa aérea (BA) foi relacionada ao local de ocorrência e a origem da marisma (estes fatores e sua interação contabilizaram 28,4% da variação total; **Tabela 8**). Isto ocorreu principalmente devido a maior biomassa do piso alto da marisma madura M1 ($5.939 \pm 1687,39$ g/m²), que era

dominado pela cobertura de *S. densiflora* (**Figura 5**). Nas demais marismas a dominância foi por *S. alterniflora* (pisos baixos de marismas criadas e jovens) ou com cobertura mista. Exceto C2 onde a BA foi maior do que J2 e M2, maiores BA médias ocorreram em marismas maduras ($F_o = 12,17$; $p < 0,001$) e em pisos altos ($F_A = 4,63$; $p < 0,05$ e $F_{oxA} = 7,78$; $p < 0,001$).

3.6 - Análises de Discriminante das marismas

Análise de Discriminante foi utilizada para verificar a capacidade das variáveis ambientais e dos componentes da biomassa combinados distinguirem as marismas. Seis variáveis contribuíam significativamente para o aumento da discriminação das marismas. Os valores médios do nitrogênio amoniacal e BA foram os principais atributos correlacionados (respectivamente, $r = -0,71$ e $-0,43$; $p < 0,001$) com a função discriminante 1 (FD1) (**Figura 6**), que explicou 10,47% da variabilidade estrutural entre as marismas (**Tabela 9**). A FD1 foi capaz de diferenciar C2 das demais marismas criadas, J1 das demais marismas jovens e M1 de M3-M4, todas devido a menores teores de nitrogênio amoniacal na água intersticial. Além disto FD1 mostra que sob alta disponibilidade de nitrogênio amoniacal, as marismas naturais (as jovens mais acentuadamente) apresentam maior formação de biomassa aérea que as marismas criadas, excetuando-se C2 que também mostrou maior formação de biomassa. A FD2 explicou 4,07% da variabilidade estrutural entre as marismas e apresentou correlações significativas ($p < 0,01$) com os valores de silte ($r = 0,62$), fosfato ($r = 0,44$), argila ($r = 0,48$) e PBS ($r = -0,272$) (**Figura 6; Tabela 9**). A combinação linear destes atributos permitiu discriminar marismas maduras (*e.i.*, M1 e M2) e J1 depauperadas em fosfato da maioria das marismas jovens e de C2. A correlação negativa entre PBS e FD2 indica que a formação de biomassa aérea nas marismas sob alta disponibilidade de nitrogênio amoniacal é aparentemente limitada pela disponibilidade de fósforo. Adicionalmente, maiores teores de silte em J3 possivelmente associados com uma menor hidrodinâmica diferencia esta marisma de J2.

4. DISCUSSÃO

4.1. Comparação estrutural entre marismas criadas e jovens

As marismas criadas, de forma geral, demonstraram características estruturais semelhantes às marismas naturais jovens de referência, mas particularmente quando a altura de seus pisos de formação na zona entremarés não eram muito diferentes.

Marismas criadas mostraram sedimentos similares aos dos pisos entremarés baixos das marismas naturais jovens de referência. Estes sedimentos possuem uma predominância de fração areias finas associada à maior hidrodinâmica por batimento de ondas, que selecionam e oxigenam as camadas superficiais (Calliari *et al.*, 2010). Fundos arenosos estão tipicamente associados com as margens e as partes rasas dos grandes bancos submareais (Calliari *et al.*, 2010). A pouca diferença de altura entre os pisos entremarés, típico de marismas de pouca idade (Frey & Basan, 1978), faz com que as marismas criadas apresentem teores de sedimentos finos semelhantes entre seus pisos, exceto na marisma C1, onde os sedimentos finos aparecem em maior quantidade em seu piso entremaré alto. Por a marisma C1 ser a mais antiga dentre as criadas (quase 20 anos), já mostra um soerguimento de suas partes mais antigas (piso mais alto), onde ocorre a disposição de sedimentos finos. Sedimentos argilo-sílticos compõe a maior parte do material em suspensão na água do estuário e são frequentemente encontrados em canais profundos e enseadas rasas protegidas (Calliari *et al.*, 2010). Eles são transportados para o interior das marismas nos períodos de águas mais altas (acima do NML), junto ao material em deriva, onde são depositados e contribuem para o soerguimento do piso da marisma (Figueiroa, 1985; Azevedo, 2000). Os maiores acúmulos de finos nos pisos superiores das marismas jovens (silte em J3 e J4; argila em J2) é compatível com a maior verticalização destas marismas e provavelmente são decorrentes da abundância destes sedimentos finos nas enseadas rasas do Sacos da Mangueira e da Coroa do Boi. Pouca deposição superficial de finos, como em C3 e C4 poderiam resultar da intensa hidrodinâmica em seus pisos entremarés de pouca altura topográfica. Finos podem ser removidos por ondas de 0,20 m e frequência de 1 a 5 segundos, causadas por ventos de SW-NW (Marangoni & Costa, 2009). Como exceção do padrão citado acima, a marisma criada C2 construída sobre um depósito de material

dragado, possui grandes teores ($75,3 \pm 6,4$ % de areia) em seus pisos entremarés altos. Valores semelhantes de granulometria foram encontrados por Costa *et al.* (2012) nesta mesma área, ao amostrar o sedimento superficial com um teor médio de 77% de areia (41% de areia fina e 36% de areia média), que foi associado a característica do sedimento dragado depositado na formação desta marisma.

A incorporação de matéria orgânica autoctona aos sedimentos também contribuiu para o soerguimento do terreno das marismas J2 e J3, ricas em matéria orgânica no sedimento. Craft *et al.* (1993) também observaram o acúmulo de matéria orgânica autoctona no sedimento, como mecanismo de soerguimento importante em marismas micromareais irregularmente alagadas, por conta da descontinuidade do aporte de sedimento. Porém as marismas que estes autores descrevem são alagadas raramente ou por marés de tempestade, fato que não se aplica para as marismas do estuário da Lagoa dos Patos. Teores de 1 a 2 % matéria orgânica encontrada nos sedimentos de águas rasas e não vegetadas ao redor da Ilha da Pólvora (Martin, 1965; Mazo, 1994) são semelhantes aos encontrados em C1, C2 e C3. Valores maiores e semelhantes aos 4,5 a 5,6% de matéria orgânica encontrados em sedimentos de marisma vegetada por *S. alterniflora* deste estuário (Copertino, 1995; Azevedo, 2000), foram registrados nas marismas jovens J2 e J3. Consequentemente, a posição baixa no entremarés onde marismas foram criadas dificulta o desenvolvimento de seus solos.

A coluna sedimentar de ambientes aquáticos, especialmente a sua fração orgânica, realiza trocas de nutrientes com a coluna da água sobrejacente, reciclando compostos, envolvendo processos biológicos, físico-químicos, químicos e processos de transporte (Baumgarten *et al.*, 2001). Processos biogeoquímicos que ocorrem nos sedimentos e que alteram a qualidade da água sobrejacente podem ser influenciados por fatores como turbulência e a hidrodinâmica, que aumentam os intercâmbios químicos entre a água e o sedimento, especialmente em ambientes aquáticos com pouca profundidade (Baumgarten *et al.*, 2001). Em estudos realizados nas enseadas marginais rasas situadas ao sul do estuário da Lagoa dos Patos, são intensas as instabilidades de alguns compostos químicos e a dinâmica da coluna d'água, onde qualquer alteração de fatores meteorológicos, como chuvas e ventos influenciam a composição da água alterando a salinidade e a turbidez (Almeida *et al.*, 1993; Baumgarten *et al.*, 1995;

Baumgarten *et al.*, 2001). A salinidade influencia nas variações de concentrações de nutrientes na água intersticial nos primeiros 8 cm da coluna sedimentar, podendo diluir as concentrações de amônio e fosfato (Baumgarten *et al.*, 2001). A caracterização físico-química da água intersticial das marismas criadas e jovens mostrou ambientes bem distintos entre a localidades 1, não eutrofizada, e as localidades 3 e 4, enriquecidas de nutrientes, com condutividades estequiometricamente altas para suas salinidades e valores redox muito negativos (estes últimos em pisos mais altos). Na localidade 1, as características físico-químicas e nutrientes intersticiais são muito semelhantes em marismas criada e jovem. Nas localidades 3 e 4 com aporte de efluentes domésticos e industriais, no Saco da Mangueira, os níveis de nutrientes dissolvidos na coluna d'água é alto (Costa *et al.*, 1982; Baumgarten *et al.*, 1993). Altas concentrações de fosfato e amônio intersticial encontradas nas marismas jovens J3 e J4, são semelhantes às maiores concentrações médias de nitrogênio amoniacal (1,8 a 5,5 mg/L) e fosfato (0,03 a 1,83 mg/L) registradas na água intersticial do sedimento superficial do Saco da Mangueira por Baumgarten *et al.* (2001) e Mendonça & Costa (2008). Redox negativos nos pisos altos das marismas, com frequências de alagamento superiores a 45%, como em J2 (-335 mV), J3 (-410 mV) e J4 (-428 mV), estiveram associados a sedimentos escuros que tinham cheiro sulfuroso ou de amoníaco. Estas mesmas características sedimentares foram observadas por Baumgarten *et al.* (1993) em localidades no Saco da Mangueira contaminadas por esgotos cloacais ou com resíduos orgânicos. Adicionalmente nos pisos mais altos de J3 e J4, o acúmulo de matéria orgânica (devido a alta produção de biomassa) e a sua degradação, resultam em compostos ácidos húmicos e fúvicos (Bertness & Elisson, 1987), que provavelmente contribuem para diminuir o pH do sedimento nestas marismas. Por outro lado, médias de pH mais alcalinas de todas as marismas criadas poderiam ser explicadas pela ausência/remoção dos compostos húmicos e fúvicos e uma maior influência de compostos químicos responsáveis pela alcalinidade da água salinizada (Bertness & Elisson, 1987) nos pisos entremarés baixos destas marismas.

Apesar das diferenças no grau de eutrofização entre localidades, marismas criadas e jovens possuem cobertura monoespecífica de *S. alterniflora*, produção de biomassa aérea (BA) e biomassa subterrânea (BS) parecidas, particularmente quando

ambas encontram-se em elevações topográficas semelhantes. Por exemplo, as marismas naturais jovens de referência foram semelhantes às suas respectivas marismas criadas nas localidades 1, 3 e 4, quanto aos atributos citados em seus pisos baixos. Estas semelhanças nas BA e BS possivelmente são consequência da alta frequência de alagamento das áreas consideradas. Por exemplo, dentro da área eutrofizada da enseada Saco da Mangueira, as marismas criadas C3 e C4 alagadas, respectivamente, 83,8 e 52,1% do tempo e suas marismas jovens de referência alagadas acima de 43% do tempo mostraram semelhante formação de grandes quantidades de biomassa. Marismas baixas são ambientes sujeitos a constantes alagamentos e salinidades variáveis; nestes pisos entremarés baixos, a maior circulação de água promove a oxigenação do sedimento das margens, a renovação de nutrientes bem como a retirada de toxinas produzidas por bactérias nitrato redutoras e sulforedutoras (Long & Mason, 1983; Crawford, 1989). Frey & Basan (1978) define os pisos baixos de marismas, mesmo das estabelecidas a muitas décadas, como áreas “infantis”.

A comparação dos atributos ecológicos de marismas construídas com *S. alterniflora* e marismas micromareais naturais norte-americanas de referência da costa Atlântica e do Golfo do México, revelaram que as marismas criadas possuíam similaridades de suas BA e BS em relação às suas marismas de referência (Craft *et al.*, 1999; 2002). De forma semelhante ao presente estudo, na costa da Carolina do Norte (EUA), a BA de marisma criada de *S. alterniflora* desenvolve rapidamente, podendo atingir níveis comparáveis com a BA da marisma natural 3 a 5 anos após sua criação (Broome *et al.*, 1986; Craft *et al.*, 1999; 2002). Após 15 anos de plantio das marismas criadas na Carolina do Norte, os valores de BA destas (~ 1,500 g/m²) e de sua marisma natural de referência (~ 1,300 g/m²) eram semelhantes, bem como não muito diferentes dos valores de BA encontrados nas marismas criadas com 9-10 anos do estuário da Lagoa dos Patos, entre 1,212 e 1,793 g/m² em seus pisos entremarés baixos.

A estrutura das comunidades vegetais das marismas criadas e jovens de referência do estuário da Lagoa dos Patos foram semelhantes em seus pisos entremarés baixos e vegetadas por exclusivamente *S. alterniflora*. Maiores riquezas de espécies e valores de CV observados nas marismas jovens J2, J3 e J4 em seus pisos entremarés altos, dentro das enseadas da Coroa do Boi e Saco da Mangueira, podem ser

relacionados ao maior soerguimento e disponibilidade de nutrientes nestas duas enseadas.

A Análise de Agrupamento também destacou nos pisos entremarés a colonização inicial de *S. alterniflora* (C1, C2, C3, J1, J3, J4 e M4). Nas porções mais elevadas e interiores do piso entremarés baixo, a dupla presença de *A. hastata* e *S. olneyi* nas marismas naturais J4 e M4, ambas espécies tolerantes ao alagamento, porém *S. olneyi* sendo tolerante apenas à baixas salinidades (Costa *et al.*, 1997). Na Análise de Correspondência evidenciou-se as semelhanças de cobertura vegetal entre as marismas criadas e as marismas naturais jovens de referência, da mesma forma que a Análise de Agrupamento, bem como as diferenças destas marismas das marismas maduras, com suas maiores coberturas vegetais em seus pisos entremarés superiores. Adicionalmente, a cobertura vegetal das marismas Junção foi diferenciada pela coexistência de *A. hastata* e *S. olneyi* nas marismas J4 e M4 e exclusividade da liana perene invasora *I. cairica*, em C4. Ao contrário das demais marismas criadas que estão separadas espacialmente de suas marismas naturais de referência, a marisma criada C4 está situada imediatamente ao lado de uma marisma natural madura. Esta situação resultou em uma composição florística diferenciada, com a colonização da parte superior por *S. maritimus* e *I. cairica* presentes.

4.2 – Alterações estruturais com o amadurecimento das marismas

O maior número de espécies (NSP) observado nas marismas maduras M1, M2, M3 e M4 e no piso alto da marisma jovem J4, esteve relacionado com espécies comumente encontradas nas zonas de deposição de material em deriva do estuário da Lagoa dos Patos. As espécies *A. hastata* (em M3, J4 e M4), *R. paraguayensis* e *P. sagittalis* (em M2) são plantas nitrófilas (Costa, 1997b, Costa *et al.*, 1997), que ocorrem desde o sul do Brasil até a Argentina (Parodi, 1940; Irgang & Gastal, 1986) encontradas nas zonas de deposição de material (Azevedo, 2000; Costa *et al.*, 1997). Neste estuário, a transição entre marismas inferiores e médios pode ser caracterizada pelo acúmulo de material em deriva flutuante na Lagoa, distribuído pelos ventos dominantes ao invés das micromarés (Oliveira & Nhunch, 1986; Schwarzbald *et al.*, 1986; Costa & Marangoni,

2010). Este material é depositado cerca de +15 cm NML, frente ao obstáculo das espécies dominantes da marisma (Azevedo, 2000), criando padrões espaciais e temporais pouco previsíveis (Costa & Marangoni, 2010). Já a asteracea *S. tweediei* (em M1 e M2), é uma espécie exploradora de brechas efêmeras na copa de plantas dominantes de pisos entremarés médios e altos (como *S. densiflora* e *J. krausii*), soterradas por material de deriva (Costa, 1997b). Eventos extremos, como a ocorrência de uma maré meteorológica excepcional podem soterrar estas marismas médias por 15-30 cm de material em deriva (Costa & Marangoni, 2010). Esta perturbação causa a morte das plantas soterradas e abre uma brecha na matriz dominante (se for na face seca) de *S. densiflora*. Algumas plantas como *S. tweediei* conseguem germinar rapidamente nestas brechas, explorando este habitat efêmero, pois dentro de pouco tempo (1 a 3 anos) ocorre a invasão dos rizomas de *S. densiflora* nas margens das áreas perturbadas (Costa & Marangoni, 2010). O rápido rebrote de suas hastes e sua alta taxa de renovação foliar (Silva *et al.*, 1993; Peixoto, 1977) contribuem para o fechamento destas brechas (Azevedo, 2000).

Foi possível constatar os baixos níveis de fosfatos nas marismas maduras M1, M2, M3 e M4 em relação às marismas naturais jovens e criadas. Nas marismas maduras em seus pisos entremarés mais altos, há intensa competição das espécies vegetais pela captura dos nutrientes (Marangoni, 2001). A medida que cresce e ocupa o sedimento, *S. alterniflora* e outras espécies posteriormente associadas aumentam suas áreas e densidade de hastes, o tamanho das suas plantas e também o consumo dos nutrientes. Esta densa ocupação da marisma afeta as disponibilidades de N e P no sedimento, que podem diminuir com o passar do tempo (Pennings & Bertness, 2001; Mendonça & Costa, 2008).

De forma geral, marismas maduras apresentaram maiores formações de biomassas aéreas (BA), biomassas subterrâneas (BS) e conseqüentemente, maiores biomassas totais (BT), quando comparadas às marismas jovens e criadas. A maior BA encontrada na marisma madura M1 ($4.251,25 \pm 1.687,39$ g/m²) era composta exclusivamente por *S. densiflora*, evidenciando a estratégia de crescimento compacto desta espécie, que domina as marismas esporadicamente alagadas (média de 20% do tempo)(Costa, 1997b). A marisma madura M3 pouco alagada (8% de frequência),

apresentou valores 4 vezes maiores de MO (26,4%) do que os encontrados nas demais onze marismas estudadas. A maior parte desta matéria orgânica foi produzida localmente e permaneceu na marisma, adicionada ao sedimento depositado (Costa *et al.*, 1997; Costa, 1997a). O acúmulo de altos teores de sedimentos finos também sugere uma menor hidrodinâmica, logo a menor remoção de MO propicia uma maior disponibilidade de material orgânico para a decomposição e a consequente mineralização de nutrientes (Van Wijnen & Bakker, 2000; Marangoni, 2001). Os menores níveis de pH registrados (M3= 5,50), são provavelmente decorrentes da decomposição da MO acumulada e da formação de compostos ácidos húmicos e fúvicos, que diminuem o pH (Bertness & Elisson, 1987).

5. CONCLUSÃO

A posição baixa no entremarés das marismas criadas dificulta o desenvolvimento de seus solos (baixos teores de finos e matéria orgânica) e resulta em Redoxs positivos, devido ao batimento de ondas. Soerguimento orgânico (4-5% matéria orgânica), baixos Redoxs (até -428 mV) e altos teores de N e P distinguem a parte mais alta de marismas jovens na enseada eutrofizada Saco da Mangueira das demais marismas jovens e criadas. Maiores formações de biomassas aéreas nestes pisos altos das marismas jovens são possíveis somente em condições de maior disponibilidade de P e em condições reduzidas. Os resultados sugerem forte soerguimento orgânico e alto consumo de fósforo pela grande biomassa vegetal presente nas marismas maduras, que apresentam um maior grau de desenvolvimento estrutural e uma produtividade provavelmente mais baseada na reciclagem dos nutrientes do que na dependência de fontes aloctonas.

BIBLIOGRAFIA

- ABREU, P. C.; ODEBRECHT, C. & NIENCHESKI, L.F. 2010. Nutrientes dissolvidos. *In*: O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações, U. SEELIGER; C. ODEBRECHT (eds.) Rio Grande: FURG, p 43-48.
- ADAM, P. 1990. *Saltmarsh Ecology*. Cambridge University Press. New York. USA 461p.

- ADAM, P. 2002. Saltmarshes in a time of change. *Environment Conservation*, **29** (1):39-61
- ALMEIDA, M.T., DE ALBERNAZ, BAUMGARTEN, M.G.Z. & RODRIGUES, R.M. Identificação das Possíveis Fontes de Contaminação das Águas que Margeiam a Cidade do Rio Grande - RS. *Documentos Técnicos*, n.06, Rio Grande: FURG, 30 p.1993.
- ANGELINI, C.; ALTIERI, A.H.; SILLIMAN, B.R. & BERTNESS, M.D. 2011. Interactions among Foundation Species and their Consequences for Community. *BioScience*, **61**(10):782-789.
- AZEVEDO, A.M.G. 2000. *Habitats, Associações Vegetais e Fenologia das Plantas das Marismas da Ilha da Pólvora, Estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil)*. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande-RS, 121p.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; ROCHA, J.M.B; NIENCHESKI, L.F.H. 1996. *Manual de análises em Oceanografia Química*. Rio Grande, Editora Furg, 143 p.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; AZNAR, C. E.; ROCHA, J. M.; ALMEIDA, M. T. & KINAS, P. G. 1998. Contaminação química das águas receptoras do principal efluente doméstico da cidade do Rio Grande (RS). *Atlântica*, Rio Grande. **20**, pp. 35-54.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; NIENCHESKI, L. F. H. & VEECK, L. 2001. Nutrientes na coluna da água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica (RS- Brasil). *Atlântica*, Rio Grande. **23**: pp. 101-116
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; NIENCHESKI, L. F. H. & MARTINS, B. A. D. 2005. Saco do Justino (RS- Brasil): Amônio e fosfato na coluna d'água e na água intersticial de uma enseada não contaminada. *Atlântica*, Rio Grande. **27** (2): pp. 113-129.
- BEEFTINK, W. G. 1977. Salt-marshes. *In: the Coastline*,. Barnes, R. S. K.(ed.). John Wiley and Sons, New York., pp. 93-121.

- BERTNESS, M.D. & ELLISON, A.M. 1987. Determinants of pattern in a New England salt marsh plant community. *Ecological Monographs*, **57** (2), 129–147
- BERTNESS, M.D. 1991. Zonation of *Spartina patens* and *Spartina alterniflora* in New England salt marsh. *Ecology*, **72**: pp. 138-148.
- BERTNESS, M. D. & CALLAWAY, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology & Evolution*, **9**: pp. 191-193.
- BERTNESS, M.D. 1999. *The ecology of Atlantic shorelines*. Sinauer associates, Inc. Massachusetts, 417p.
- BRADLEY, P. M & MORRIS, J. T. 1992. Effect of salinity on the critical nitrogen concentration of *Spartina alterniflora* Loisel. *Aquatic Botany*, **43.2**: pp. 149-161.
- BROOME, S.W.; WOODHOUSE Jr., W. W. & SENECA, E. D. 1975. The relationship of mineral nutrients to growth of *Spartina alterniflora* in North Carolina: II. The effects of N, P, and Fe fertilizers. *Soil Science Society of America Journal*, **39** (2), pp. 301-307.
- BROOME, S.W.; SENECA, E.D. & WOODHOUSE, W.W. 1983. The effects of source, rate and placement of nitrogen and phosphorus fertilizers on growth of *Spartina alterniflora* transplants in North Carolina. *Estuaries*, **6**(3):212-226.
- BROOME, S.W., SENECA, E. D. & WOODHOUSE, W.W. 1986. Long-term growth and development of transplants of the salt-marsh grass *Spartina alterniflora*. *Estuaries* **9**:63–74.
- BROWER, J. E. & ZAR, J. H. 1977. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Wm. C. Brown, Dubuque.
- CALLIARI, L.; CUNHA, R. P. & ANTIQUEIRA, J. A. F. 2010. Geomorfologia e dinâmica sedimentar. *In*: U. Seeliger & C. Odebrecht (eds.). *O Estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*. Rio Grande, FURG, pp. 31-39.
- CALLAWAY, R. M. 1994. Facilitative and interfering effects of *Arthrocnemum subterminale* on winter annuals. *Ecology*, **75**: pp. 681–686.
- CASTILLO, J. M.; LEIRA-DOCE, P.; RUBIO-CASAL, A. E. & FIGUEIROA, M. E. 2008. Spatial and temporal variations in aboveground and belowground biomass of *Spartina maritima* (small cordgrass) in created and natural marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **78**, 819–826.

- CHAPIN, F. S.; BRET-HARTE, M. S.; HOBBIE, S. E. & ZHONG, H. 1996. Plant functional types as predictors of transient responses of arctic vegetation to global change. *Journal of Vegetation Science*, **7** (3): 347-358.
- CHAPMAN, V. J. 1977. Wet coastal ecosystems: introduction. In: *Ecosystems of the World*, Elsevier, pp. 1-27.
- CHUNG, C. 1993. Thirty years of ecological engineering with *Spartina* plantations in China. *Ecological Engineering*, **2**:261-289.
- CHUNG, C. H.; ZHUO, R. Z. & XU, G. W. 2004. Creation of *Spartina* plantations for reclaiming Dongtai, China, tidal flats and offshore sands. *Ecological Engineering*, **23**: pp. 135–150
- CHUNG, C. 2006. Forty years of ecological engineering with *Spartina plantations* in China. *Ecological engineering* **27**: 49–57.
- COPERTINO, M. 1995. *Spartina alterniflora* Loisel. no Estuário da Lagoa dos Patos, RS - Brasil. Desempenho populacional em pântanos irregularmente alagados. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 116 p.
- COPERTINO, M., COSTA, C.S.B. & SEELIGER, U. 1997. Dinâmica populacional de *Spartina alterniflora* em pântanos salgados do estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande, RS. *Annals of VIII Seminário Regional de Ecologia* (ed. J.E. Santos), pp. 295–312. UFSCar/Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Renováveis, São Carlos, Brazil.
- COSTA, C.S.B. 1997a. Tidal marsh and wetland plants. In: *Subtropical convergence environments. The coast and sea in the Southwestern Atlantic*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 24-26.
- COSTA, C.S.B. 1998a. Plantas de marismas e terras alagáveis. In: Seeliger, UC, Odebrecht & JP Castello (eds.). *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil*. Rio Grande: *Ecoscientia*, pp. 25-29.
- COSTA, C. S. B. 1998b. Marismas irregularmente alagadas. In: Seeliger, UC, Odebrecht & JP Castello (eds.). *Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil*. Rio Grande, pp. 82-87.

- COSTA, C. S. B. 1998c. Production ecology of *Scirpus maritimus* in Southern Brazil. *Ciência e Cultura*, **50**(4), pp. 273-280.
- COSTA, C.S.B.. 2011a. Restoration of coastal salt marshes in Brazil using native salt marsh plants. *In: Restoration Ecology*. S. Greipsson (Editor). Sudbury (MA. U.S.A.): Jones and Bartlett Publishers, pp. 333-338.
- COSTA, C.S.B.. 2011b. Projeto de recuperação de marismas. Capítulo 5.4. *In: Manejo integrado do estuário da Lagoa dos Patos : uma experiência de gerenciamento costeiro no sul do Brasil*. P.R. A.T. & M.L.Asmus (Editores). Rio Grande (RS): Editora da FURG, pp. 50-60.
- COSTA, C.S.B. & MARANGONI, J.C. 1997. Criação de marismas com espécies nativas: experimento piloto no sul do Brasil. *In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIENCIAS DO MAR*, 7, Santos, *Anais*, **1**:pp. 200-201.
- COSTA, C.S.B. & MARANGONI, J.C. 2010. As comunidades das marismas *In: O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*, Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Editores). Rio Grande:FURG, pp. 125-133.
- COSTA, C.S.B.; CORDAZZO, C. V. & SEELIGER, U. 1996. Shore disturbance and dune plant distribution. *Journal of Coastal Research*, pp. 133-140.
- COSTA, C.S.B.; SEELIGER, U.; OLIVEIRA, C.P.L. & MAZO, A.M.M. 1997. Distribuição, funções e valores das marismas e pradarias submersas no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). *Atlântica*, **19**: pp. 65-83.
- COSTA, C.S.B.; MARANGONI, J.C. & AZEVEDO, A.M.G. 2003. Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *Journal of Ecology*, **91**(6):pp. 951-965.
- COSTA, C.S.B.; IRIBARNE, O.O. & FARINA, J.M. 2009. Human impacts and threats to the conservation of South American salt marshes. *In: SILLIMAN, B. R.; GROSHOLTZ, T.; BERTNESS, M. D. (Ed.). Salt Marshes under Global Siege*. Berkeley: University of California Press, 2009.
- COSTA, C.S.B. & MARANGONI, J.C. 2010. As comunidades das marismas *In: O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*, Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Editores). Rio Grande:FURG, pp. 125-133.

- COSTA, C.S.B.; MENDONÇA, P.T. & MARANGONI, J.C. 2012. Criação de uma marisma em enseada estuarina no sul do Brasil utilizando sedimento dragado. Anais do VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC Associação Brasileira de Engenharia Ambiental – ASBEA Criciúma (SC) pp. 960-969.
- COSTA, N. R.; KANTIN, R.; NIENCHESKI, L. F.; BATISTA, J. R. & BAUMGARTEN, M. G. Z. 1982. Estudo da poluição orgânica nas águas que rodeiam a cidade de Rio Grande. *Engenharia Sanitária*, **21** (2): pp. 222-231.
- CRAFT, C. B.; SENECA, E. D. & BROOME, S. W. 1993. Vertical accretion in microtidal regularly and irregularly flooded estuarine marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **37.4**: pp. 371- 386.
- CRAFT, C. B.; READER, J. M.; SACCO, J. N. & BROOME, S. W. 1999. Twenty-five years of ecosystem development of constructed *Spartina alterniflora* (Loisel) marshes. *Ecological Applications* **9**: pp. 1405–1419.
- CRAFT, C. B.; BROOME, S.W. & CAMPBELL, C. L. 2002. Fifteen years of vegetation and soil development following brackish- water marsh creation. *Restoration Ecology* **10**: pp. 248–258.
- CRAFT, C.; MEGONIGAL, P.; BROOME, S.; STEVENSON, J.; FREESE, R.; CORNELL, J.; ZHENG, L & SACCO, J. 2003. The pace of ecosystem development of constructed *Spartina alterniflora* marshes. *Ecological Applications*, **13**(5), 2003, pp. 1417–1432.
- CRAWFORD, P. J. 1989. Measurement of cordgrass *Spartina alterniflora*, production in macrotidal estuary, Bay of Fundy. *Estuaries*, **12** (1): pp. 27-34.
- CUNHA, S.R. 1994. Modelo ecológico das marismas de *Spartina alterniflora* Loisel (Poaceae) do estuário da Lagoa dos Patos, RS. Dissertação de Mestrado. Universidade do Rio Grande, 105 p.
- CUNHA, S.R.; ASMUS, M. & COSTA, C.S.B. 2005. Production dynamics of *Spartina alterniflora* salt marshes in the estuary of the Patos Lagoon (RS, Brazil): A simulation model approach. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, **9**(2): pp. 75-85.

- CURADO, G.; RUBIO-CASAL, A. E.; FIGUEIROA, E.; GREWELL, B.; CASTILLO, J. M. 2013. Native plant restoration combats environmental change: development of carbon and nitrogen sequestration capacity using small cordgrass in European salt marshes. *Environ Monit Assess* **185**: pp. 8439–8449.
- DARNELL, T. & SMITH, E.H. 2002. Recommended Design for More Accurate Duplication of Natural Conditions in Salt Marsh Creation. *Environmental Management* **29**(6): pp. 813–823.
- DAVY, A.J. & COSTA, C.S.B. 1992. Development and organization of salt marsh communities. *In*: Seeliger, U. (ed.). Coastal Plant Communities of Latin America. New York, Academic Press, pp. 157-178.
- DAVY, A. J. & FIGUEIROA, M. E. 1993. Colonization of strandlines. Special publication... *of the British Ecological Society*, pp. 112-131.
- ELEUTERIUS, L. N. 1990. Tidal marsh plants. Pelican Publishing, 1990.
- EMERY, N.C.; EWANCHUK, P.J. & BERTNESS, M.D. 2001. Competition and salt-marsh plant zonation: stress tolerators may be dominant competitors. *Ecology*, **82**: pp. 2471–2485.
- FIDELMANN, P.I.J. 1995. Produção e desaparecimento da biomassa de *Scirpus maritimus* L. na Ilha da Pólvora (RS). Trabalho de conclusão de curso de graduação em Oceanologia. Rio Grande, Universidade do Rio Grande, 34 p.
- FIGUEROA, M. E.; MARTOS, M. J.; FERNANDEZ-PALACIOS, J. M. & RUBIO-GARCIA, J.C. 1985. Papel geomorfológico de *Spartina maritima* (Curt.) Fern. y *Spartina densiflora* Brong. en las Marismas del Rio Odiel. *In*: REUNIÓN DEL CUARTENARIO IBÉRICO, Lisboa. Actas ... Lisboa, pp. 367-378.
- FREY, R.W. & BASAN, P.B. 1978. Coastal salt marshes *In*: Davis, R. A. Jr. (ed.). Coastal sedimentary environments. New York, Springer-Verlag
- GAONA, C.A.; PEIXOTO, A.R. & COSTA, C.S.B. 1996. Produção primária de uma marisma raramente alagada dominada por *Juncus effusus* L., no extremo sul do Brasil. *Atlântica*, **18**: pp. 43-54.
- HAINES, B. L. & DUNN, E. L. 1985. Coastal marshes. *In*: Physiological ecology of North American plant communities. Springer Netherlands, pp. 323-347.

- HARTMANN, C. 1996. Dinâmica, Distribuição e Composição do Material em Suspensão na Região Sul da Laguna dos Patos, RS. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre-RS, 363p.
- HUBALEK, Z. 1982. Coefficients of association and similarity, based on binary(presence-absence) data: An evaluation. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, **57.4**: pp. 669-689.
- IRGANG, B. E. & GASTAL, C. V. S., Jr. 1996. Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS. UFRGS, Porto Alegre, 290 p.
- ISACCH, J.P.; COSTA, C.S.B.; RODRÍGUEZ- GALLEGO, L.; CONDE, D.; ESCAPA, M.; GAGLIARDINI, D.A.; IRIBARNE, O.O. 2006. Distribution of salt marsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the southwest Atlantic coast. *Journal of Biogeography*, **33** (5): pp. 888-900.
- KITAYAMA, K.; MUELLER-DOMBOIS, D. & VITOUSEK, P. M. 1995. Primary succession of Hawaiian montane rain forest on a chronosequence of eight lava flows. *J. V. S*, **6**: pp.211-222
- KRUCZYNSKI, W.L. 1982. Salt marshes of the northeastern Gulf of Mexico. *In*: R.R. LEWIS (ed.), *Creation and restoration of coastal plant communities*. Boca Raton, CRC Press, pp. 71-88.
- LEVINE, J.M.; BREWER, J.S.; BERTNESS, M.D. 1998. Nutrients, competition and plant zonation in a New England salt marsh. *Journal of Ecology*, **86**: pp. 285-292.
- LONG, S. P. & MASON, C. F. 1983 *Saltmarsh Ecology*. Glasgow. Blackie & Son Ltd. 160 p.
- LUDWIG, J. A. & REYNOLDS, J. F. 1988. *Statistical ecology: a primer in methods and computing*. John Wiley & Sons.
- MACDONALD, K. B. 1977. Coastal salt marsh. *Terrestrial vegetation in California*. Wiley, New York, pp. 263-294.
- MANLY, B. F. J. 1986. Randomization and regression methods for testing for associations with geographical, environmental and biological distances between populations. *Researches on Population Ecology*, **28.2**: pp. 201-218.

- MARANGONI, J. C. 2001. Interação Competitiva e habilidade colonizadora das plantas dominantes de uma marisma irregularmente inundada no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). Dissertação de Mestrado. Oceanografia Biológica. Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande: 169p.
- MARANGONI, J. C. 2008. Subsídios para o gerenciamento das marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS). Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica - FURG, Rio Grande. 141 p.
- MARANGONI, J.C. & COSTA, C.S.B. 2009. Natural and anthropogenic effects on salt marsh over five decades in the Patos Lagoon (Southern Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography* **57**(4): pp. 345-350.
- MARANGONI, J.C. & COSTA, C.S.B. 2010. Caracterização das atividades econômicas tradicionais no entorno das marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, **21**: pp. 129-142, jan./jun. 2010. Editora UFPR.
- MARANGONI, J.C. & COSTA, C.S.B. 2012. Short-and Long-Term Vegetative Propagation of Two *Spartina* Species on a Salt Marsh in Southern Brazil. *Estuaries and Coasts*, **35**, pp.763 - 773.
- MARTIN, L. R. 1965. Contribuição à sedimentologia da Lagoa dos Patos II - Sacos do Umbu (do Silveira), Arraial e Mangueira. Escola de Geologia (notas e estudos), **1**: pp. 27-44.
- MAZO, A. M. M. 1994. Distribuição e biomassa da fanerógama submersa *Ruppia maritima* L. no Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande, RS, Brasil. Dissertação de Mestrado. Rio Grande, FURG, 82 p.
- MENDONÇA, P. T. 2008. Efeitos da disponibilidade de macronutrientes no estabelecimento de *Spartina alterniflora* (Loisel.) em planos entremarés no estuário da Lagoa dos Patos (RS). Dissertação de Mestrado, Rio Grande, FURG, 85 p.
- MENDONÇA, P.T.M & COSTA, C.S.B. 2008. Efeitos da disponibilidade de nitrogênio e fósforo no estabelecimento de *Spartina alterniflora* em um plano entremarés irregularmente alagado. *Neotropical Biology and Conservation* **3**(3): pp. 135-148.

- METCALFE, W.S.; ELLISON, A.M.; BERTNESS, M.C. 1986. Survivorship and spatial development of *Spartina alterniflora* Loisel. (Gramineae) seedlings in a New England salt marsh. *Annals of Botany*, **58**: pp. 249-258.
- MÖLLER, O & FERNANDES, E. 2010. Hidrologia e hidrodinâmica. In: *O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*, Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Editores).Rio Grande:FURG, pp.17-27.
- MOSSMAN, H.; BROWN, M.; DAVY, A. & GRANT, A. 2012. Constraints on salt marsh development following managed coastal realignment: dispersal limitation or environmental tolerance? *Restoration Ecology*, School of Plant Biology, University of Western Australia, Crawley, WA 6009 Australia, 32p.
- NIEVA, F. J. & LUQUE, C. J., 1995. Odiel Marshes. In: MORILLO, C. and GONZÁLEZ, J.L. (eds). Management of Mediterranean wetlands. Madrid, Spain: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 381-393.
- NIEVA, F. J. J. 1996. Aspectos ecológicos de *Spartina densiflora* Brong. Master's Thesis, University of Seville, Seville, Spain, 241 pp.
- NIENCHESKI, L. F.; BAUMGARTEN, M. G. 1997. Environmental chemistry. In: Subtropical convergence marine ecosystem. The coast and the sea in the warm temperate southwestern atlantic, *Springer Verlag, Heidelberg*, pp. 20-23.
- ODUM, W. E. 1988. Comparative ecology of tidal freshwater and salt marshes. *Annual Review of Ecology and Systematics*, pp. 147-176.
- OLIVEIRA, M. E. A. & NHUNCH, G. 1986. Avaliação sazonal do conteúdo de PO₄, biomassa e densidade em *Scirpus californicus*, no saco de Tapes (RS). *Acta Limnologica Brasiliensis*, **1**: pp. 299-316.
- ONIPCHENKO, V. G.; SEMENOVA, G. V. & MAAREL, E. 1998. Population strategies in severe environments: alpine plants in the northwestern Caucasus. *Journal of Vegetation Science*, **9.1**: pp. 27-40.
- PACKHAM, J. R. & WILLIS, A. J. 1997. Ecology of dunes, salt marsh and shingle. Springer Science & Business Media.

- PALUDAN, C. & MORRIS, J.T. 1999. Distribution and speciation of phosphorus along a salinity gradient in intertidal marsh sediment. *Biogeochemistry*, **45**: pp. 197– 221.
- PARODI, L. R. 1940. Los bosques naturales de la Provincia de Buenos Aires. *In: Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. pp. 79-90.
- PEIXOTO, A.R. 1997. Análise simultânea da produção primária das comunidades de macrófitas emergentes dominantes das marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS)- Brasil. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 112 p.
- PEIXOTO, A. R. & COSTA, C.S.B. 1998. Mobilidade do detrito e produção primária líquida aérea anual da biomassa de *Scirpus maritimus* L. em uma marisma no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros. Águas de Lindóia. pp. 80-89.
- PEIXOTO, A.R. & COSTA, C.S.B. 2004. Produção primária líquida aérea de *Spartina densiflora* Brong. (Poacea) no estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheríngia, Ser. Bot.*, **59**(1): pp. 27-34.
- PENNINGS, S.C. & CALLAWAY, R. M. 1992. Salt marsh plant zonation: the relative importance of competition and physical factors. *Ecology*, **73.2**: pp. 681-690.
- PENNINGS, S.C. & BERTNESS, M.D. 1999. Using latitudinal variation to examine effects of climate on coastal salt marsh pattern and process. *Current Topics in Wetland Biogeochemistry*, **3**, pp. 100-111.
- PENNINGS, S.C. & BERTNESS, M.D. 2001. Salt marsh communities. *Marine Community Ecology* (eds M.D. Bertness, S.D. Gaines & M.E. Hay), pp. 289–316. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- PENNINGS, S.C.; STANTON, L. E. & BREWER, J. S. 2002. Nutrient Effects on the Composition of Salt Marsh Plant Communities Along the Southern Atlantic and Gulf Coasts of the United States. *Estuaries* **25** (6A): pp. 1164–1173.

- RATCHFORD, S.G. 1995. Changes in the density and size of newly settled clams in Willapa Bay, Washington, due to the invasion of smooth cordgrass, *Spartina alterniflora* Loisel. (M.S. Thesis, University of Washington).
- ROMESBURG, H. C. 1984. Cluster analysis for researchers. Van Nostrand Reinhold, New York.
- SAYCE, K. 1988. Introduced cordgrass, *Spartina alterniflora* Loisel, in salt marshes and tidelands of Willapa Bay, Washington. Willapa National Wildlife Refuge.
- SCHWARZBOLD, A.; FONSECA, O. J. M. & GUERRA, T. 1986. Aspectos limnológicos do Saco de Tapes, Laguna dos Patos. *Acta Limnologica Brasiliensis, São Paulo*, 1: pp. pp. 89-102.
- SEELIGER, U., COSTA, C.S.B. & ABREU, P.C. 1997. Energy flow and habitats in the Patos Lagoon estuary. *Subtropical Convergence Environments: the Coast and Sea in the Warm- Temperate Southwestern Atlantic* (eds U. Seeliger, C. Odebrecht & J.P. Castello), pp. 65–70. Springer-Verlag, Berlin.
- SEELIGER, U. & COSTA, C.S.B. 1998. Impactos naturais e humanos. In: U. SEELIGER; C. ODEBRECHT; J.P. CASTELLO (eds.), *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo Sul do Brasil*. Rio Grande, Editora Ecoscientia, pp. 217-226.
- SENECA, E.; BROOME, S. W. & WOODHOUSE, W. W. J. 1985. The influence of durations of inundations on development of a man- initiated *Spartina alterniflora* Loisel. marsh in North Carolina. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1985, 94, pp.259-268
- SIEGEL, S. 1975. *Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil Ltda, p. 350.
- SILVA, C.P., PEREIRA, C.M.P. & DORNELES, L.P.P. 1993. Espécies de gramíneas e crescimento de *Spartina densiflora* Brong. em uma marisma da Laguna dos Patos, RS, Brasil. *Caderno de Pesquisa, Série Botânica (Santa Cruz Do Sul)*, 5, pp. 95– 108.
- SMART, R.M. & BARKO, J.W. 1980. Nitrogen nutrition and salinity tolerance of *Distichlis spicata* and *Spartina alterniflora*. *Ecology*, 61(3): pp. 630-638.
- SOUZA-VIERA, S.R. & HARTMANN, C. 2008. Modificação marginal das ilhas estuarinas usando ferramentas de aerofotografia, sedimentologia e batimetria. *Revista Brasileira de Cartografia* 60/04 (ISSN 1808-0936).

- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, 1972, pp. 65-70.
- SUGUIO, K. 2003. *Geologia sedimentar*. Edgard Blücher.
- SUNDARESHWAR, P.V.; MORRIS, J.T.; KOEPFLER, E.K. & FORNWALT, B. 2003. Phosphorus Limitation of Coastal Ecosystem Processes. *Science* **299**, p. 563.
- TYLER, A.C. & ZIEMAN, J.C. 1999. Patterns of development in the creekbank region of a barrier island *Spartina alterniflora* marsh. *Marine Ecology Progress Series*, **180**: pp. 61-177.
- VAN WIJNEN, H. J. & BAKKER, J. P. 2000. Annual nitrogen budget of a temperate coastal barrier salt-marsh system along a productivity gradient at low and high marsh elevation. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **3.2**: pp. 128-141.
- WENT, F. W. 1949. Ecology of desert plants. II. The effect of rain and temperature on germination and growth. *Ecology*, pp.1-13.
- WIEGERT, R. G.; POMEROY, L. R.; WIEBE, W. J. 1981. Ecology of salt marshes: an introduction. *In: The ecology of a salt marsh*. Springer New York, pp. 3-19.
- WIEGART, R. G. & FREEMAN, B. J. 1990. Tidal salt marshes of the southeast Atlantic coast: a community profile. Biological report **85** (7.29). *US Fish and Wildlife Service, Washington, DC*.
- WHISENANT, S.G. 2005. First Steps in erosion control. *In: Forest Restoration in Landscapes*, Springer, Part D, pp. 350-356.
- ZAR, J.H. 1984. *Biostatistical analysis*. Nova Jersey, Prentice-Hall Inc., 718 p.
- ZAR, J.H. 2010. *Biostatistical analysis*. 5th. ed. Prentice Hall, New Jersey. 944p.
- ZEDLER, J. B. 1992. Restoring cordgrass marshes in southern California.
- ZEDLER, J. B. & CALLAWAY, J.C. 1999. Tracking wetland restoration: Do mitigation sites follow desired trajectories? *Restoration Ecology* **7**: pp. 69-73.
- ZEDLER, J. B. & CALLAWAY, J.C. 2000. Evaluating the progress of engineered tidal wetlands. *Ecological Engineering* **15**: pp. 211-225.

Tabela 1. Caracterização das marismas criadas, jovens e maduras estudadas no estuário da Lagoa dos Patos (Rio Grande, RS). Datas de criação e dos registros aerofotográficos mais antigos (jovens e maduras) das marismas também são apresentados.

Cod	Origem	Local	Datas	Área plantada	Posição	Altura (m NML)	Ref.
C1	Criada	Ilha da Pólvora	Agosto 1995	100 m ²	32°01'06,03" S 52°06'28,56" W	0,20 (0,05 a 0,26)	1; 2
J1	Jovem	Ilha da Pólvora	2004		30°01'15,39" S 52°06'01,33" W	0,05 (-0,14 a 0,30)	
M1	Madura	Ilha da Pólvora	1953		32°01'12,43" S 52°06'11,20" W	0,03 (-0,14 a 0,65)	
C2	Criada	Santa Teresa	Dezembro 2006	540 m ²	32°03'02,41" S 52°04'48,04" W	0,08 (-0,25 a 0,31)	3; 4
J2	Jovem	Santa Teresa	2004		32°03'00,69" S 52°04'47,24" W	0,03 (-0,20 a 0,30)	
M2	Madura	Santa Teresa	1947		32°03'10,36" S 52°05'07,90" W	0,11 (-0,22 a 0,67)	
C3	Criada	Lar Gaúcho	Outubro 2006	1120 m ²	32°02'52,07" S 52°05'38,24" W	-0,24 (-0,39 a -0,02)	3; 4; 5
J3	Jovem	Lar Gaúcho	2004		32°02'44,24" S 52°06'05,52" W	-0,01 (-0,20 a 0,30)	
M3	Madura	Lar Gaúcho	1947		32°02'48,12" S 52°06'08,04" W	0,38 (-0,15 a 1,01)	
C4	Criada	Junção	Mai 2005	100 m ²	32°03'06,75" S 52°06'56,85" W	-0,10 (-0,28 a 0,19)	3; 4
J4	Jovem	Junção	2004		32°03'48,18" S 52°08'27,88" W	-0,01 (-0,20 a 0,30)	
M4	Madura	Junção	1953		32°03'49,93" S 52°08'28,05" W	0,15 (-0,10 a 1,05)	

Referências: 1= Costa & Marangoni (1997); 2= Marangoni & Costa (2012); 3= Costa (2011a); 4= Costa (2011b); 5= Mendonça & Costa (2008).

Tabela 2. Composição, frequência (FR) e cobertura visual média (CV) das plantas nas marismas criadas, jovens e maduras amostradas no estuário da Lagoa dos Patos (RS).

Espécies	Família		C1	J1	M1	C2	J2	M2	C3	J3	M3	C4	J4	M4
<i>Spartina alterniflora</i>	Poaceae	FR	100	100	77.0	100	81.0	77.0	100	97.0	62.0	72.0	75.0	95.0
		CV	20.5	16.0	16.0	46.0	30.0	31.6	37.0	30.0	24.0	31.0	46.0	54.0
<i>Scirpus maritimus</i>	Cyperaceae	FR	0.0	0.0	2.0	0.0	34.0	37.0	0.0	3.0	43.0	48.0	0.0	0.0
		CV	0.0	0.0	1.0	0.0	20.0	26.8	0.0	3.0	25.0	28.0	0.0	0.0
<i>Scirpus olneyi</i>	Cyperaceae	FR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.0	10.0
		CV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	5.0
<i>Spartina densiflora</i>	Poaceae	FR	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0
		CV	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0
<i>Atriplex hastata</i>	Amaranthaceae	FR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	20.0	10.0
		CV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	6.0	2.0
<i>Ipomoea cairica</i>	Convolvulaceae	FR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0
		CV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0
<i>Senecio tweediei</i>	Asteraceae	FR	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		CV	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Pluchea sagittalis</i>	Asteraceae	FR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		CV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Stigmaphyllon litorale</i>	Malpighiaceae	FR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		CV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Juncus kraussii</i>	Juncaceae	FR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
		CV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
<i>Aster squamatus</i>	Asteraceae	FR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0
		CV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
<i>Rumex paraguayensis</i>	Polygonaceae	FR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		CV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Número de espécies			1	1	4	1	2	7	1	2	5	3	4	3
Número de quadrados			0	60	60	40	32	60	60	60	60	25	40	40

Tabela 3. Análises de Variância de características edáficas das marismas amostradas entre localidades, origem (criada, jovem e madura), altura do piso entremarés (alta e baixa). As interações local x origem (L*O), local x altura (L*A) e origem x altura(O*A) também foram consideradas.

Parâmetro	GL	SQ	MQ	Eta (%)	F	p
Areia#						
Origem	2	2339.80	1169.90	3.53	3.94	*
Altura	1	4282.10	4282.10	6.47	14.42	***
Local	3	4342.08	1447.36	6.56	4.87	***
O * A	2	2922.02	1461.01	4.41	4.92	*
O * L	6	7589.34	1264.89	11.47	4.26	***
L * A	3	481.33	160.44	0.73	0.54	ns
Resíduo	75	44233.97	10082.74	66.83		
Silte#						
Origem	2	332.59	166.29	1.97	1.80	ns
Altura	1	1414.37	1414.37	8.39	15.29	***
Local	3	1059.76	353.25	6.29	3.82	*
O * A	2	830.33	415.16	4.93	4.49	*
O * L	6	996.67	166.11	5.92	1.80	ns
L * A	3	322.01	107.34	1.91	1.16	ns
Resíduo	75	11893.08	2715.03	70.59		
Argila\$						
Origem	2	0.57	0.29	1.22	1.05	ns
Altura	1	3.04	3.04	6.50	11.17	***
Local	3	2.65	0.88	5.66	3.24	*
O * A	2	0.81	0.41	1.73	1.49	ns
O * L	6	5.90	0.98	12.61	3.61	***
L * A	3	0.21	0.07	0.45	0.26	ns
Resíduo	75	33.61	5.95	71.83		
M.O.\$						
Origem	2	1.41	0.70	3.91	3.00	ns
Altura	1	1.71	1.71	4.74	7.27	*
Local	3	2.90	0.97	8.04	4.11	*
O * A	2	0.49	0.24	1.36	1.04	ns
O * L	6	2.26	0.38	6.27	1.60	ns

L * A	3	0.45	0.15	1.25	0.64	ns
Resíduo	75	26.83	4.38	74.42		

= ANOVA com $\log_{10}(x)$; \$= ANOVA com $\log_{10}(x)+1$; *= $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$.

(Continuação da tabela 3)

Tabela 4- Concentrações médias (\pm desvio-padrões), valores mínimos e máximos na água intersticial de fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato das marismas criadas, jovens e maduras de quatro localidades no Estuário da Lagoa dos Patos (n=4).

Nutrientes	C1	J1	M1	C2	J2	M2	C3	J3	M3	C4	J4	M4
P-PO4-2	0,049	0,006	0,026	0,704	0,619	0,082	0,416	0,567	0,177	0,047	0,618	0,264
DP	0,043	0,012	0,028	0,661	0,391	0,054	0,536	0,648	0,346	0,026	0,775	0,206
Mín.	0,007	0,001	0,001	0,115	0,076	0,030	0,014	0,017	0,001	0,007	0,014	0,030
Max.	0,135	0,033	0,093	1,986	1,126	0,188	0,138	1,618	1,015	0,076	2,180	0,539
N-NH4+	0,896	0,918	0,631	0,669	3,245	1,039	0,550	3,418	1,821	0,833	3,516	2,662
DP	0,477	0,317	0,248	0,204	1,628	0,501	0,196	2,166	1,028	0,179	4,603	1,529
Mín.	0,502	0,607	0,421	0,502	1,020	0,444	0,408	1,109	0,959	0,636	0,809	1,001
Max.	1,872	1,387	1,219	1,013	5,446	2,081	0,484	6,932	4,072	1,074	14,615	5,267
N-NO2-1	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,016	0,003	0,004
DP	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,008	0,004	0,004
Mín.	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
Max.	0,000	0,010	0,001	0,002	0,007	0,008	0,007	0,005	0,000	0,024	0,011	0,011
N-NO3-2	0,003	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,008	n.d.	n.d.	0,115	-0,099	-0,012	-0,016
DP	0,004					0,017			0,140	0,083	0,026	0,036
Mín.	0	n.d.	0,018	n.d.	n.d.	n.d.						
Max.	0,008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,028	n.d.	n.d.	0,364	0,036	0,011	0,024

n.d. = não detectado

Tabela 5 - Resultados das Análises de Variância das concentrações médias na água intersticial de fosfato e nitrogênio amoniacal entre marismas de quatro localidades (Ilha da Pólvora, Santa Teresa, Lar Gaúcho e Junção), três origens (criada, jovem e madura), duas alturas do piso entremarés (alta e baixa) no Estuário da Lagoa dos Patos. As interações de segunda ordem local x origem (L*O), local x altura (L*A) e origem x altura (O*A) também foram consideradas.

Parâmetros	GL	SQ	MQ	Eta (%)	F	p
Fosfato\$						
Origem	2	0,12	0,06	8,95	7,64	***
Altura	1	0,06	0,06	4,47	7,51	***
Local	3	0,22	0,07	16,41	8,67	***
O * A	2	0,01	0,00	0,74	0,69	ns
O * L	6	0,22	0,03	16,41	4,35	***
L * A	3	0,04	0,01	2,98	1,95	ns
Resíduo	80	0,67	0,00	50,00		
Amônio\$						
Origem	2	1,55	0,77	33,33	36,87	***
Altura	1	0,09	0,09	1,93	4,51	*
Local	3	0,35	0,11	7,52	5,61	***
O * A	2	0,16	0,08	3,44	3,89	*
O * L	6	0,79	0,13	16,98	6,28	***
L * A	3	0,02	0,00	0,43	0,41	ns
Resíduo	80	1,69	0,02	36,34		

\$ = ANOVA com $\log_{10}(x)+1$; * = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$

Tabela 6. Valores médios (\pm erros-padrões), valores mínimos e máximos da condutividade, salinidade, pH e potencial REDOX na água intersticial das marismas criadas, jovens e maduras de quatro localidades no Estuário da Lagoa dos Patos (n=8). Tabela 3. Análises de Variância de características edáficas das marismas amostradas entre localidades, origem (criada, jovem e madura), altura do piso entremarés (alta e baixa). As interações local x origem (L*O), local x altura (L*A) e origem x altura (O*A) também foram consideradas.

Parâmetros	C1	J1	M1	C2	J2	M2	C3	J3	M3	C4	J4	M4
Cond.	47,3	43,7	40,7	39,7	25,3	58,7	48,5	33,2	31,4	27,8	40,6	51,9
EP	4,3	0,9	3,5	3,3	4,1	3,5	0,7	2,7	2,0	5,9	11,0	3,6
Mín.	32,6	41,9	26,6	32,2	13,3	47,6	48,5	24,9	25,3	11,4	11,8	39,2
Max.	55,3	46,1	44,8	46,8	33,0	64,7	51,5	38,1	36,0	34,5	64,1	56,8
Salinidade	32,6	25,4	31,4	26,4	8,6	19,0	29,0	26,6	27,2	18,8	16,0	17,0
EP	2,5	0,6	3,1	2,9	1,6	1,4	0,9	0,9	1,4	3,6	4,1	1,1
Mín.	28,0	24,0	20,0	19,0	4,0	15,0	29,0	24,0	23,0	9,0	4,0	14,0
Max.	40,0	27,0	38,0	32,0	11,0	22,0	34,0	29,0	30,0	24,0	24,0	20,0
pH	7,3	6,7	6,2	7,3	7,1	6,5	7,1	6,9	6,6	7,8	7,0	7,0
EP	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,2
Mín.	5,5	6,0	5,6	7,1	6,8	5,9	7,1	6,6	5,5	7,2	6,8	6,6
Max.	8,9	7,4	6,8	7,5	7,3	7,0	8,2	7,1	7,3	8,5	7,0	7,7
Redox	-0,2	81,4	88,2	99,6	0,5	154,7	104,6	-202,2	125,2	52,6	-113,1	-94,4
EP	38,9	26,5	15,0	4,9	121,4	32,5	10,1	107,8	27,0	11,7	139,1	129,4
Mín.	-90,0	24,0	30,0	90,0	335,0	73,0	72,0	-410,0	55,0	22,0	-428,0	-382,0
Max.	115,0	158,0	117,0	114,0	235,0	205,0	125,0	89,0	185,0	72,0	165,0	149,0

Tabela 7 . Análises de Variância da condutividade, salinidade, pH e Redox das marismas amostradas entre localidades, origem (artificial, jovem e madura), altura do piso entremarés (alta e baixa). As interações local x origem (L*O), local x altura (L*A) e origem x altura (O*A) também foram consideradas.

Parâmetros	GL	SQ	MQ	Eta (%)	F	p
Condutividade #						
Origem	2	0,23	0,12	10,40	9,78	***
Altura	1	0,05	0,05	2,26	4,11	*
Local	3	0,11	0,04	4,97	3,18	*
O * A	2	0,01	0,00	0,45	0,34	ns
O * L	6	0,88	0,15	39,81	12,16	***
L * A	3	0,03	0,01	1,35	0,81	ns
Resíduo	75	0,90	0,01	0,45		
Salinidade #						
Origem	2	0,51	0,26	14,20	20,12	***
Altura	1	0,01	0,01	0,27	0,95	ns
Local	3	1,49	0,50	41,50	39,04	***
O * A	2	0,02	0,01	0,55	0,80	ns
O * L	6	0,58	0,10	16,15	7,58	***
L * A	3	0,03	0,01	0,83	0,91	ns
Resíduo	75	0,95	0,01	26,46		
pH #						
Origem	2	0,08	0,04	7,27	3,72	*
Altura	1	0,00	0,00	0,00	0,41	ns
Local	3	0,10	0,03	9,09	3,17	*
O * A	2	0,04	0,02	3,63	1,78	ns
O * L	6	0,03	0,00	2,72	0,40	ns
L * A	3	0,06	0,02	5,45	1,94	ns
Resíduo	75	0,79	0,01	71,81		

= ANOVA com log₁₀(x); * = p<0,05; *** = p<0,001

(Continuação – Tabela 7)

Parâmetros	GL	SQ	MQ	Eta (%)	F	p
Redox #						
Origem	2	1,37	0,68	9,4	6,16	***
Altura	1	0,81	0,81	5,55	7,29	*
Local	3	1,75	0,58	12,01	5,27	***
O * A	2	0,18	0,09	1,23	0,80	ns
O * L	6	1,09	0,18	7,48	1,63	ns
L * A	3	1,05	0,35	7,2	3,16	*
Resíduo	75	8,32	0,11	57,1		

= ANOVA com $\log_{10}(x)$; * = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$.

Tabela 8. Análises de Variância da biomassa total (BT), biomassa subterrânea (BS) e percentual de alocação para biomassa subterrânea (PBS) das marismas amostradas entre localidades, origem (artificial, jovem e madura), altura do piso entremarés (alta e baixa). As interações local x origem (L*O), local x altura (L*A) e origem x altura (O*A) também foram consideradas.

Parâmetros	GL	SQ	MQ	Eta (%)	F	p
BT #						
Origem	2	1,61	0,81	7.93	15,37	***
Altura	1	2,98	2,98	14.68	56,80	***
Local	3	0,47	0,16	2.32	3,00	*
O * A	2	1,75	0,88	8.62	16,71	***
O * L	6	0,49	0,08	2.41	1,57	ns
L * A	3	0,88	0,29	4.33	5,57	***
Resíduo	75	12,12	5,24	59.70		
BS #						
Origem	2	1,55	0,77	5.06	7,60	***
Altura	1	5,01	5,01	16.36	49,11	***
Local	3	1,28	0,43	4.18	4,19	*
O * A	2	1,74	0,87	5.68	8,54	***
O * L	6	1,53	0,26	5.00	2,51	*
L * A	3	0,37	0,12	1.21	1,22	ns
Resíduo	75	19,14	7,56	62.51		
PBS #						
Origem	2	0,00	0,00	0.00	0,05	ns
Altura	1	0,26	0,26	2.84	5,50	*
Local	3	1,04	0,35	11.37	7,28	***
O * A	2	0,05	0,03	0.55	0,53	ns
O * L	6	1,07	0,18	11.69	3,75	***
L * A	3	0,36	0,12	3.93	2,49	ns
Resíduo	75	6,37	0,98	69.62		

= ANOVA com log₁₀(x); * = p<0,05; *** = p<0,001

(Continuação - Tabela 8)

Parâmetros	GL	SQ	MQ	Eta (%)	F	p
BAT #						
Origem	2	2,54	1,27	8.02	12,17	***
Altura	1	0,48	0,48	1.52	4,63	*
Local	3	4,41	1,37	13.92	13,11	***
O * A	2	1,62	0,81	5.11	7,78	***
O * L	6	2,05	0,34	6.47	3,28	*
L * A	3	0,97	0,32	3.06	3,11	*
Resíduo	75	19,61	4,71	61.90		
CV #						
Origem	2	0,54	0,27	3.20	13,04	***
Altura	1	0,87	0,87	5.15	42,37	***
Local	3	4,48	1,49	26.51	72,39	***
O * A	2	0,31	0,16	1.83	7,57	***
O * L	6	0,67	0,11	3.96	5,41	***
L * A	3	0,80	0,27	4.73	12,99	***
Resíduo	75	9,23	3,19	54.62		
NSP \$						
Origem	2	0,45	0,22	5.56	8,40	***
Altura	1	1,03	1,03	12.72	38,69	***
Local	3	0,21	0,07	2.59	2,66	*
O * A	2	0,57	0,29	7.04	10,74	***
O * L	6	0,64	0,11	7.90	3,99	***
L * A	3	0,14	0,05	1.73	1,79	ns
Resíduo	75	5,06	1,80	62.47		

= ANOVA com log 10(x); \$ = ANOVA com log 10(x)+1; * = p<0,05; *** = p<0,001

Tabela 9 – Análise de Discriminante de marismas criadas, jovens e maduras de quatro localidades no Estuário da Lagoa dos Patos. Resultados de diferenças multivariadas significativas entre marismas devido a introdução passo a passo (técnica “forward”) na análise é apresentada pelos valores parciais de Lambda. Correção de Pearson entre as variáveis e as duas principais funções discriminantes são apresentadas. Diferentes letras maiúsculas em cada passo indicam marismas significativamente discriminadas pelas funções compostas pela combinação linear das variáveis introduzidas.

Passo	Variável Introduzida	Lambda				Marismas												Correlação Pearson			
		Parcial	F	p		C1	C2	C3	C4	J1	J2	J3	J4	M1	M2	M3	M4	FD1	p	FD2	p
1	N-NH ₄	0,391	10,47	***		A	A	A	AB	A	D	D	CD	A	AB	BC	CD	-0,707***		0,137ns	
2	BAT	0,623	4,08	***		AF	E	A	AB	F	E	DE	CDE	A	AB	BCD	CD	0,428***		-0,076ns	
3	P-PO ₄	0,528	6,02	***		C	F	A	B	C	E	D	DE	ABC	B	D	D	-0,074ns		0,444***	
4	Silte	0,773	1,98	*		C	F	A	B	C	G	H	DE	ABC	B	D	E	-0,131ns		0,623***	
5	PBS	0,760	2,12	*		CD	F	A	AB	D	H	I	G	ABC	BE	D	F	-0,071ns		-0,272**	
6	Argila	0,746	2,29	*		CD	F	A	BE	D	I	J	H	ABC	BE	G	E	-0,130 ns		0,477 ***	

ns = não significativa (p>0.05); * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001

Lista de Figuras

Figura 1. O Estuário da Lagoa dos Patos e as áreas estudadas. 1= Ilha da Pólvora, 2= Santa Teresa, 3= Lar Gaúcho e 4= Junção em mapa e em fotos aéreas as marismas criadas C1, C2, C3 e C4.

Figura 2A e B. Dendrograma resultante da análise da Correlação de Pearson entre as doze marismas; Diagrama da Análise de Correspondência entre as espécies vegetais e as doze marismas.

Figura 3. Porcentagem de areia, silte, argila e matéria orgânica das doze marismas no estuário da Lagoa dos Patos.

Figura 4. Condutividade observada e condutividade esperada em mS/cm em salinidades de 5 a 35 das doze marismas amostradas, com destaque das marismas jovens e maduras dos grupos 2 e 4.

Figura 5. Produção de biomassa total (BT), biomassa subterrânea (BS), biomassa aérea (BA) em g/m², proporção de biomassa subterrânea (PBS), porcentagem da cobertura vegetal (CV) e número de espécies (NSP) das doze marismas amostradas no estuário da Lagoa dos Patos.

Figura 6. Resultado da Análise Discriminante dos fatores Biomassa Aérea, Nitrogênio Amoniacal, Silte e Fosfato nas marismas criadas, jovens e maduras.

Figura 1

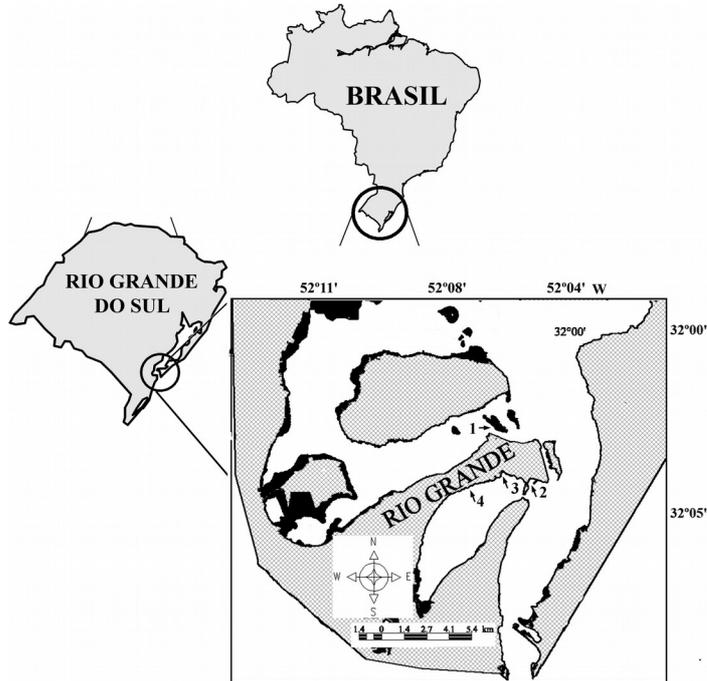


Figura 2

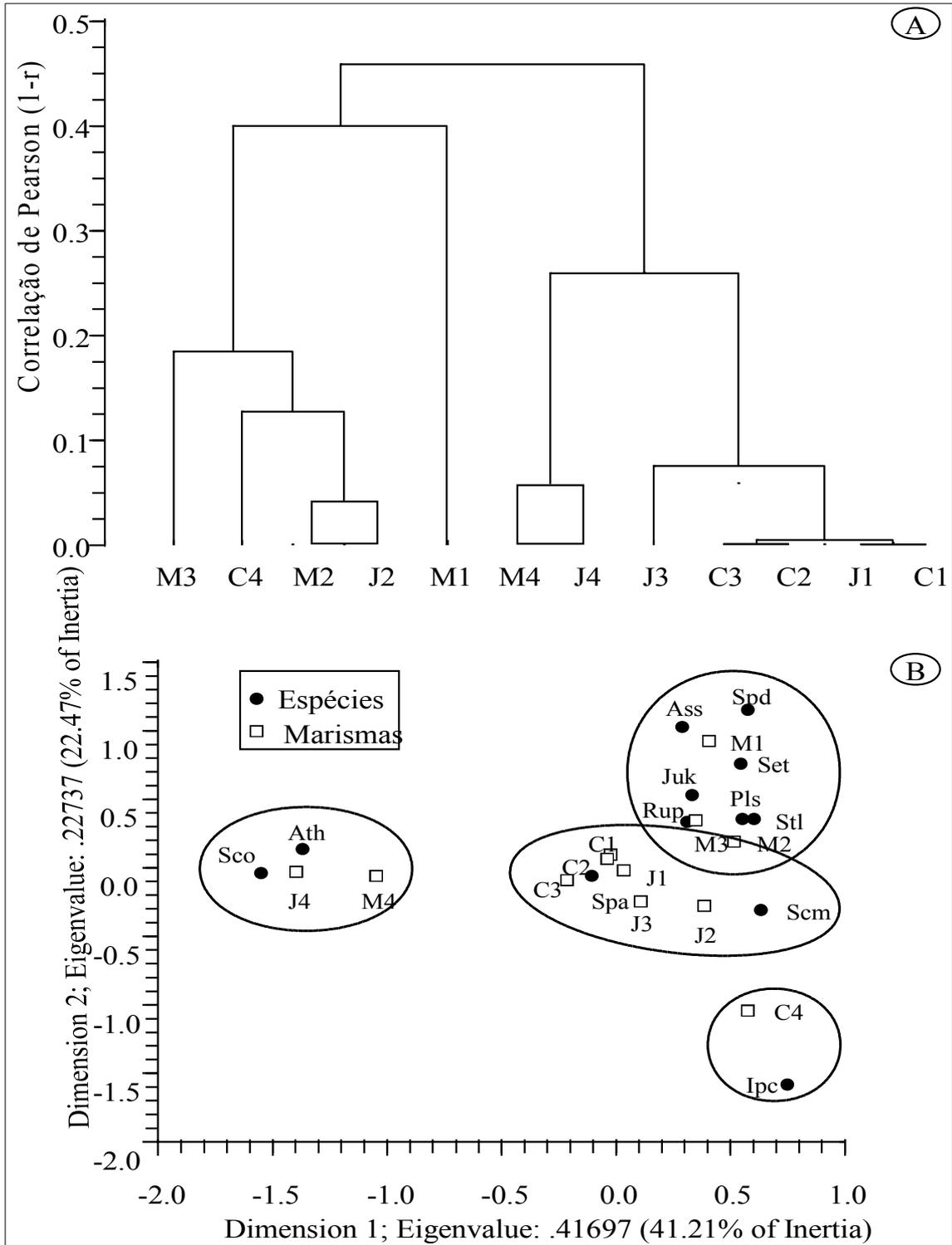


Figura 3

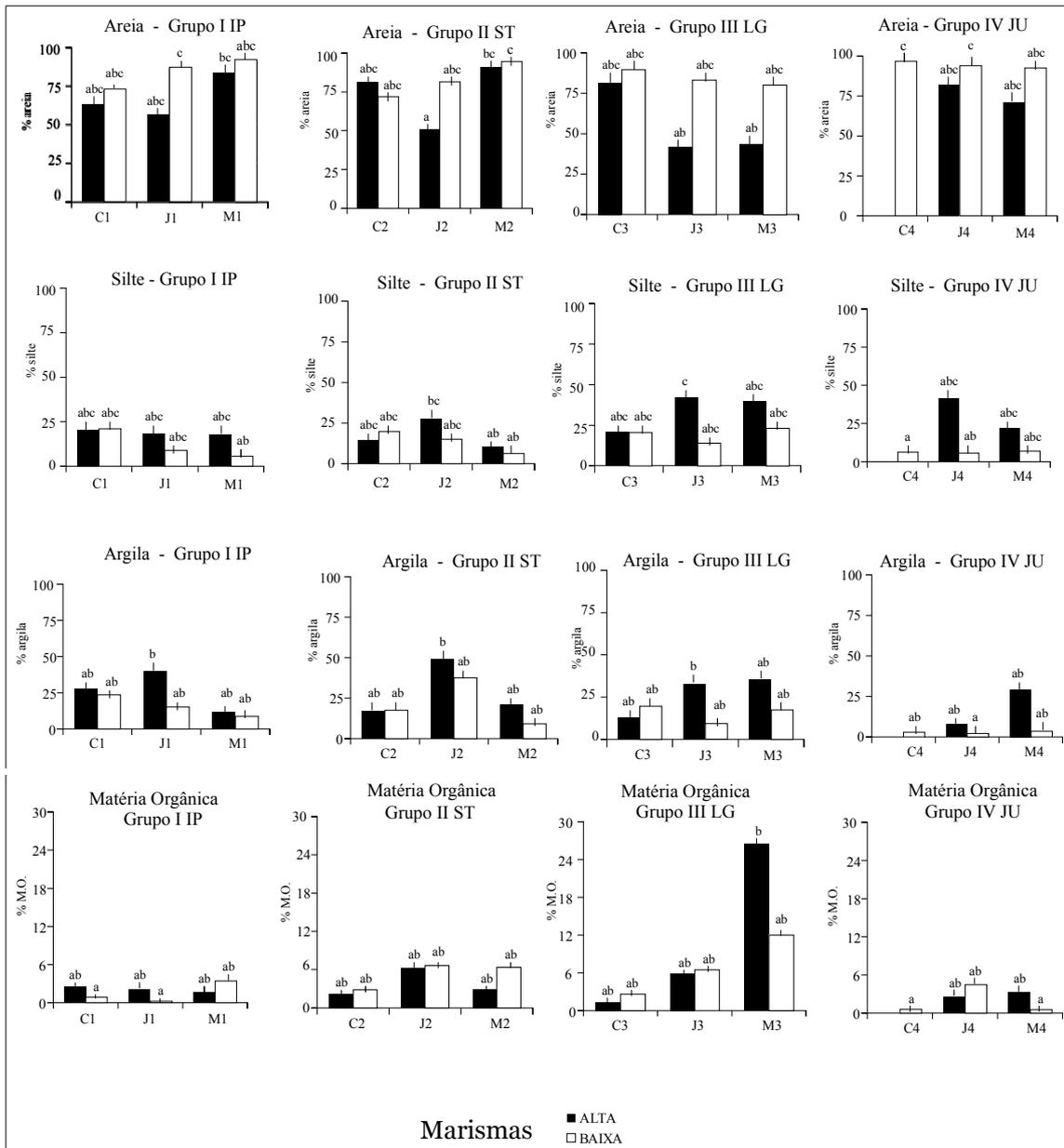


Figura 4

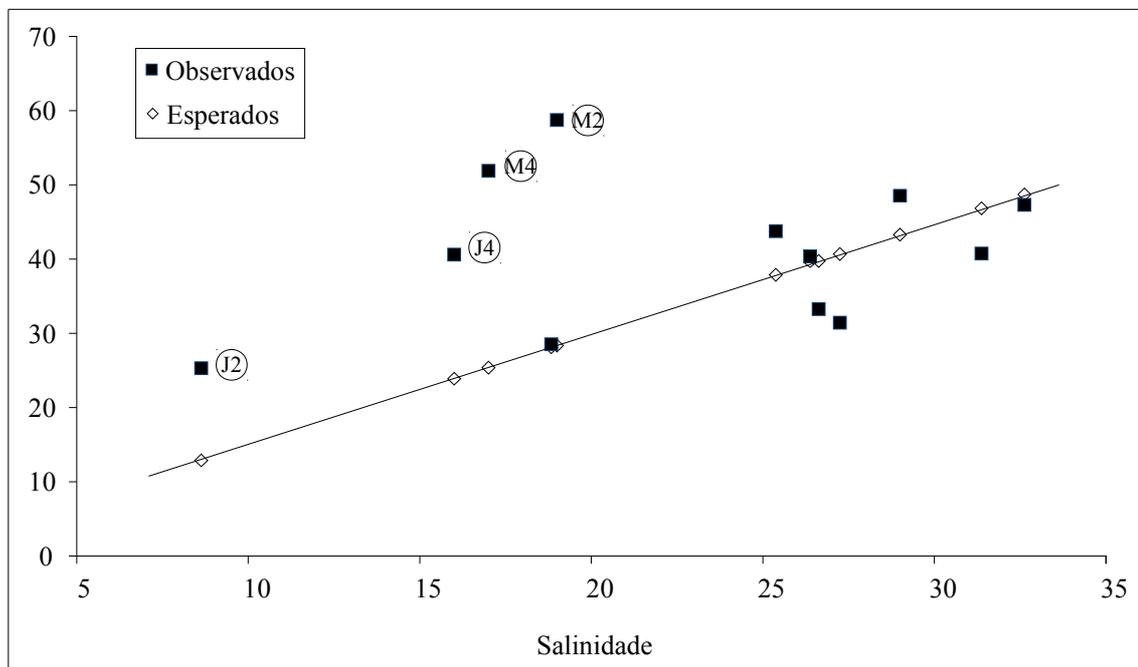
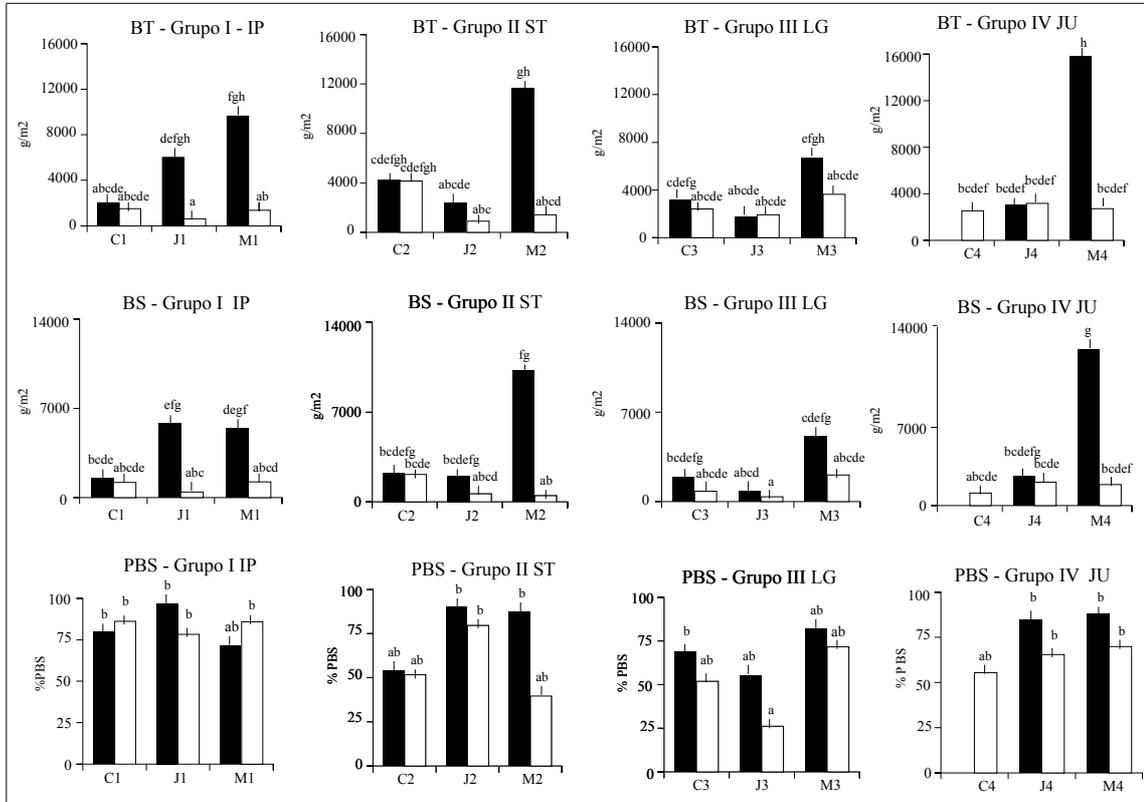


Figura 5



(continuação da figura 5)

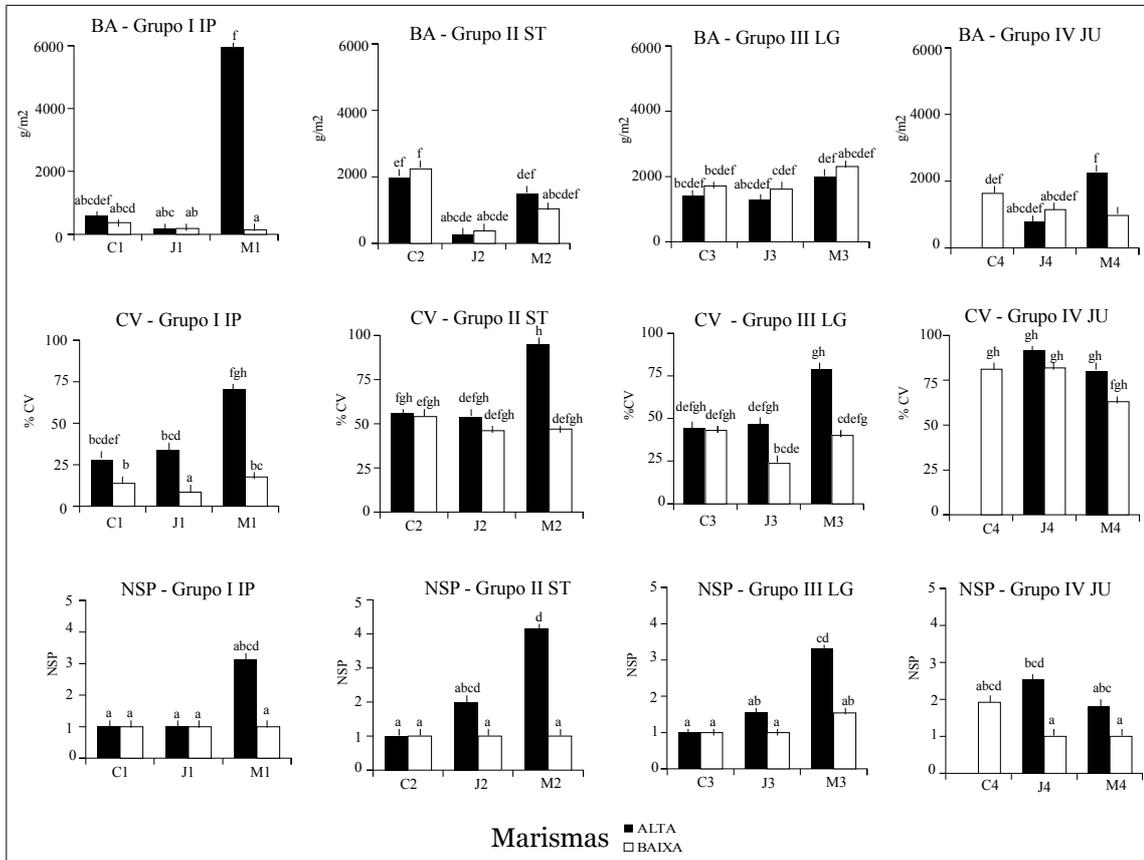
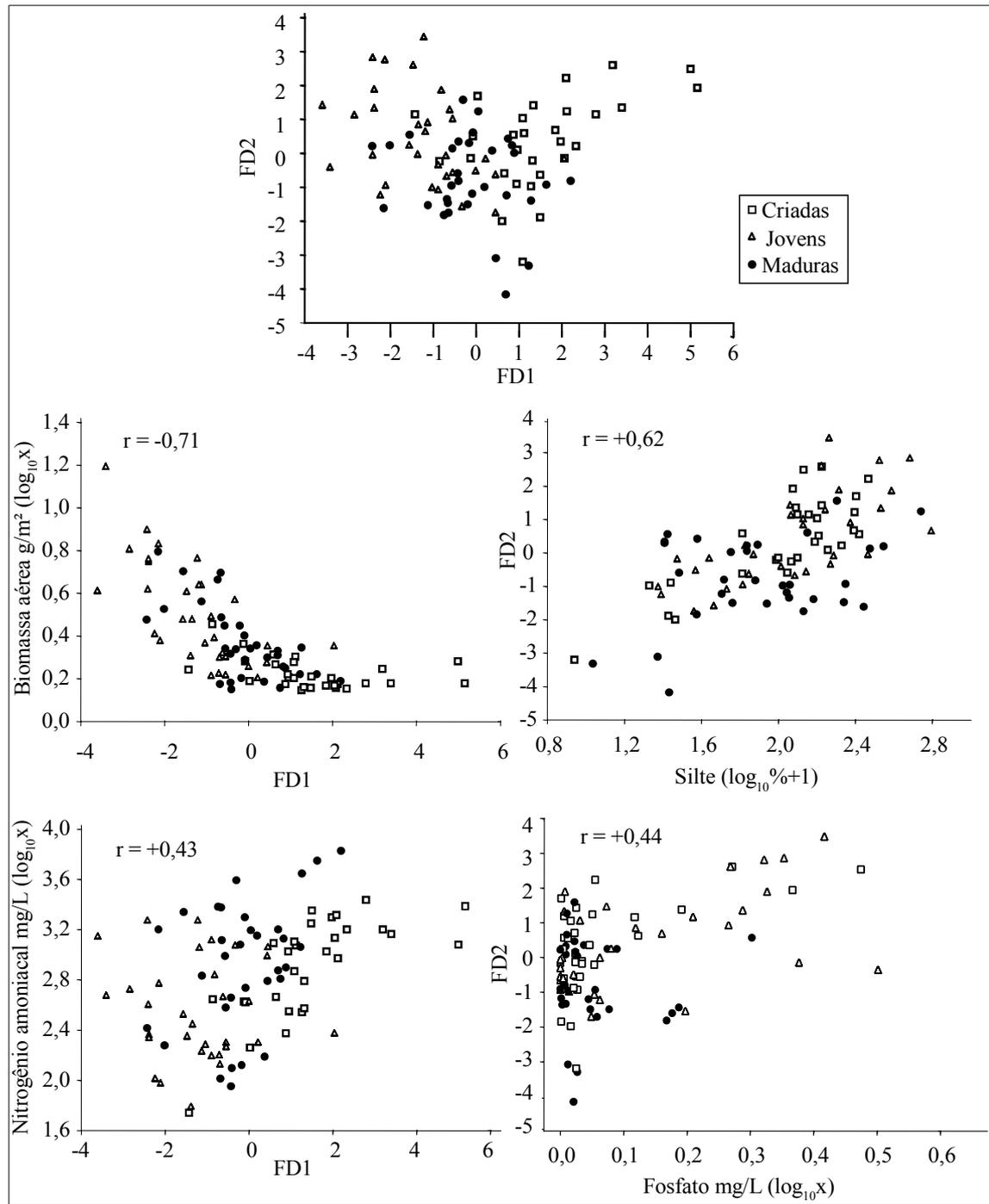


Figura 6



CAPÍTULO III

Desenvolvimento autogênico de uma marisma criada pelo plantio de *Spartina alterniflora* em um estuário micromareal.

Desenvolvimento autogênico de uma marisma criada pelo plantio de *Spartina alterniflora* em um estuário micromareal.

RESUMO

Marismas são estruturas biogênicas, onde poucas espécies fundadoras constroem e mantêm os seus habitats. Entretanto, o papel protagonista dos processos autogênicos no desenvolvimento das marismas não é muito claro e as vezes questionado em relação a ambientes costeiros sujeitos a pulsos hidrológicos. Este estudo faz uma avaliação dos papéis dos processos autogênicos e alogênicos no desenvolvimento de uma marisma criada pelo plantio de *S. alterniflora* ao longo de 3 anos (2012-2015), em uma região estuarina sujeita a grande variabilidade interanual das chuvas e da descarga de água continental associada com o El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Em maio de 2012, dois blocos de plantio de 9 m X 21 m, contendo cada um 189 mudas da gramínea *Spartina alterniflora*, foram estabelecidos com mudas de propagação vegetativa dispostas em um espaçamento de 1 metro entre as plantas. O desenvolvimento da marisma progrediu de forma autogênica, apesar de oscilações interanuais sequenciais de baixa vazão e de excessiva vazão das águas no Estuário da Lagoa dos Patos associados, respectivamente, a eventos de moderada intensidades de La Niña e de El Niño. Os blocos de plantio B1 e B2 foram alagados respectivamente 32,9-51,5% do tempo por águas com salinidade média de 23-26 em 2012, e por 61,9 (B2) - 69,5% (B1) do tempo por águas oligohalinas (< 5) em 2014. Em 2012, o sedimento arenoso do plano entremarés possuía menos de 7% finos, acumulando até 2015 altos teores médios de argilas ($21,9 \pm 10,9\%$) e matéria orgânica ($14,7 \pm 4,6\%$). A biomassa vegetal na marisma criada cresceu até valores máximos no segundo ano após o plantio (respectivamente aérea= $1,325-1,364 \text{ g/m}^2$ e subterrânea= $799-810 \text{ g/m}^2$). As concentrações dos nutrientes intersticiais nos blocos de plantio refletiram o vigor da alteração autogênica, ocorrendo redução dos teores de fosfato na água intersticial possivelmente relacionados ao consumo pela vegetação, aeração da rizosfera pelas plantas e/ou soerguimento orgânico da marisma, com conseqüente aumento do Redox. O papel autogênico protagonista no desenvolvimento estrutural da marisma criada parece ser suportado pela alta disponibilidade de nutrientes

no Saco da Mangueira.

ABSTRACT

Salt marshes are biogenic structures, where few founder species build and maintain their own habitats. However, the protagonist role of autogenic processes in the development of the salt marshes is unclear and sometimes questioned in relation to coastal environments under high intensities of allogenic forcing factors. This study evaluates the roles of autogenic processes and allogenic forcing factors in the first 3 years of the development of a salt marsh created by the planting of *S. alterniflora* (2012-2015). In May 2012, two 9 m X 21 m salt marsh stands were established, each one with 189 vegetative propagules of *Spartina alterniflora* grass, spaced 1 m apart. The development of the salt marsh progressed autogenic driven, despite of high interannual fluctuations of the estuary runoff associated with El Niño-Southern Oscillation (ENSO), which generated successive events of low fresh water inflow La Niña and high fresh water inflow El Niño, both events with moderate intensities. In 2012, the created marsh stands B1 and B2 were flooded 32.9 and 51.5% of the time by waters with average salinities of 23-26, respectively. By contrast, in 2014, flooding frequency increased in both marsh stands to 61.9-69.5% of the time and water was oligohaline (<5). Marsh surface sediment collected at 2012 and 2015 showed sandy characteristics with less than 7% fine grains and high average contents of clays ($21.9 \pm 10.9\%$) and of organic matter ($14.7 \pm 4.6\%$), respectively. The plant biomass in the created marsh grew up to a peak value in the second year after planting (respectively, shoot biomass = 1325 to 1364 g m⁻² and root biomass = 799-810 g m⁻²). The nutrient content of porewater in the marsh stands was affected by the autogenic change, which led to a reduction of phosphate levels probably related to increasing consumption by the vegetation, plant ventilation of the rhizosphere and/or organic uplift of the marsh surface that can raise the soil redox potential. The protagonist role of autogenic processes in the structural development of created salt marshes seems to be fostered by a high nutrient availability in the surface water and porewater of the Saco da Mangueira.

1. INTRODUÇÃO

Marismas são ambientes entremarés com cobertura de plantas herbáceas, pequenos arbustos e arvoretas tolerantes a altas salinidades e a submersão periódica pela maré (Adam, 1990, Costa & Davy, 1992). Elas oferecem habitats de abrigo, crescimento e reprodução para animais (Costa *et al.*, 1997) além da sua produção primária (Gaona *et al.*, 1996; Peixoto & Costa, 2004; Cunha *et al.*, 2005; Marangoni & Costa, 2010) ser componente dominante da teia trófica estuarina costeira (Adam, 1990; Abreu *et al.*, 2006; Marangoni & Costa, 2009).

Marismas são estruturas biogênicas, onde poucas espécies fundadoras constroem e mantêm os seus habitats (Bertness, 1999; Angelini *et al.*, 2011; Costa, 2011a). A compreensão da natureza biogênica e das respostas das plantas pioneiras aos estresses físicos nas marismas são aspectos-chave para a manutenção das funções destes ambientes costeiros e para o desenvolvimento de projetos efetivos de criação de novas marismas, particularmente durante o atual período de rápidas mudanças globais (Adam, 2002; Costa *et al.*, 2009; Marangoni & Costa, 2012; Mossman *et al.*, 2012). O sucesso de estabelecimento de uma população vegetal na zona entremarés depende de características físico-químicas como a elevação da localidade, o ambiente sedimentar e a salinidade (Broome *et al.*, 1983; Pennings *et al.*, 2002; Mendonça & Costa, 2008; Angelini *et al.*, 2011; Marangoni & Costa, 2012; Mossman *et al.*, 2012). O posterior desenvolvimento da comunidade vegetal seria determinado pela ação biogênica e facilitadora das plantas fundadoras (hipótese autogênica de estruturação), que amenizam o estresse físico-químico, como também por interações negativas, como a competição interespecífica e a ação de pastadores (Davy & Costa, 1992; Bertness, 1999; Costa *et al.*, 2003; Whisenant, 2005). Entretanto, o papel protagonista dos processos autogênicos no desenvolvimento das marismas não é muito claro e as vezes questionado em relação a ambientes costeiros sujeitos a pulsos hidrológicos, grandes aportes sedimentares e ação de macromarés. Nestes ambientes a alta intensidade de forçantes abióticos determinaria a forma de desenvolvimento das marismas (hipótese alogênica de estruturação)(Mitsch & Gosselink, 2007). Contrastantemente, Carle & Sasser (2015) observaram uma grande resiliência autogênica e capacidade de recuperação de eventos

episódicos da passagem de furacões da cobertura vegetal de banhados de água doce, em solos ricos em nutrientes de deltas em acreção no Golfo do México. Anteriormente, Balke *et al.* (2012) descreveu que o papel de construção autogênica de marismas européias por *Spartina anglica* dependeria de características morfodinâmicas e do tamanho do grão do sedimento das áreas colonizadas por esta espécie.

Parâmetros estruturais como a altura do relevo, a granulometria e o teor de matéria orgânica do sedimento, a ocupação do sedimento por raízes e rizomas ou a biomassa em pé de hastes e folhas são importantes indicadores do grau de desenvolvimento das marismas. A elevação do terreno é determinante da frequência do alagamento e da ação das ondas sobre a margem, fatores que influenciam a deposição de sedimento e a disponibilidade de nutrientes (Bertness 1999). O acúmulo de matéria orgânica no sedimento inundado, sintetizada pela própria vegetação, favorece a elevação do terreno (“soerguimento orgânico”)(Mitsch & Gosselink, 2007), propiciando uma redução do estresse de alagamento e a colonização das marismas por plantas mais sensíveis a este tensor. Áreas mais baixas frequentemente alagadas apresentam potenciais Redox negativos, que podem estimular a desnitrificação, tornando o nitrogênio limitante da produção primária das plantas nas marismas (Levine *et al.*, 1998; Emery *et al.*, 2001; Sundareshwar *et al.*, 2003), bem como propiciam a um aumento da disponibilidade de fósforo (Tyler & Zieman, 1999). Por exemplo, no sul do Brasil menores quantidades de ortofosfato são encontradas no sedimento de marismas em pisos entremarés médios (38 mg kg⁻¹), do que em marismas baixas (49-53 mg kg⁻¹) ou em planos entremarés não vegetados (68 mg kg⁻¹) (Marangoni, 2001; Costa *et al.*, 2003). Maiores percentuais de siltes, argilas e matéria orgânica aumentam a capacidade do sedimento de reter nutrientes (por adsorção e atração de cargas) e umidade durante períodos longos de exposição. As propriedades físico-químicas dos sedimentos atuam marcadamente em relação ao fósforo (P), que encontra-se na forma de compostos iônicos muitas vezes ligados a argilas e metais (Paludan & Morris, 1999). Tanto o acúmulo de matéria orgânica no sedimento como o aumento da biomassa vegetal viva por unidade de área são consideradas características indicadoras de um maior grau de desenvolvimento dos ambientes alagados, a medida que implementam processos de estocagem e reciclagem de nutrientes (Mitsch & Gosselink, 2007). O desenvolvimento

estrutural das marismas gera heterogeneidade espacial e abre novos nichos, além de aumentar os papéis de agente geomorfológico formador da costa e de barreiras flexíveis contra os avanços do mar destes ambientes.

Devido às marismas serem fisicamente dinâmicas e responderem rapidamente a trocas ambientais, a criação de novas áreas de marismas através do transplante de propágulos das gramíneas do gênero *Spartina*, tornou-se uma opção para a mitigação de áreas entremarés degradadas, para o controle de erosão e disposição de dragado em regiões estuarinas e costeiras (Broome *et al.*, 1983, Darnell & Smith, 2002; Mendonça & Costa, 2008; Costa *et al.*, 2012). Apesar desta prática cada vez mais comum, existem incertezas em relação resiliência e adaptabilidade a mudanças ambientais das marismas criadas (Zedler & Callaway, 2000; Darnell & Smith, 2002; Chung, 2006; Balke *et al.*, 2012; Mossman *et al.*, 2012). A falta de informações sobre o desenvolvimento de marismas criadas, em grande parte deve-se à frequente ausência de monitoramento extensivo de marismas em formação, bem como a carência de publicações sobre os resultados obtidos pelos responsáveis práticos dos projetos de restauração (Zedler & Callaway, 1999; Mossman *et al.* 2012).

No sul do Brasil, a expansão urbana e portuária, a deposição de resíduos sólidos e a erosão das margens tem resultado em perdas cumulativas das marismas do estuário da Lagoa dos Patos (Seeliger & Costa, 1998; Souza-Vieira & Hartmann, 2008; Costa *et al.*, 2009; Marangoni & Costa, 2009). De forma a mitigar estes impactos a grama rizomatosa nativa *Spartina alterniflora* tem sido utilizada como espécie fundadora em projetos de criação de marismas. Excetuando o monitoramento da cobertura de uma marisma criada por Marangoni & Costa (2012), nenhum dos demais plantios de *S. alterniflora* efetuados (Mendonça & Costa, 2008; Costa, 2011a, 2011b, Costa *et al.* 2012) realizou alguma forma de avaliação estrutural ou funcional das marismas criadas por mais de 14 meses. Esta falta de informação leva a um aumento da incerteza do sucesso da criação das marismas, particularmente sobre como áreas recém-colonizadas respondem ao forçante hidrológico determinante das flutuações do nível de água e da salinidade do estuário micromareal da Lagoa dos Patos (Costa *et al.*, 2003; Abreu *et al.*, 2006; Marangoni & Costa, 2012).

A região estuarina da Lagoa dos Patos com cerca de 900 km², recebe a água de

uma bacia de drenagem de 200.000 km² e se conecta ao Oceano Atlântico através de um estreito canal (menos de 1 km de largura). Esta região é sujeita a uma marcada variação sazonal das chuvas, mas maiores pulsos da variabilidade interanual da pluviosidade e da descarga de água continental deste sistema estão associadas com o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) no Pacífico Equatorial (Abreu *et al.*, 2006; Möller & Fernandes, 2010; Marangoni & Costa, 2012; Odebrecht *et al.*, 2013). Anos de El Niño proporcionam alta precipitação no verão/outono e causam extensas inundações nas bacias dos rios no sul do Brasil (Marengo, 2007), além de limnificação e elevação das águas do estuário, enquanto condições de estiagem, águas baixas e salinas no estuário prevalecem em anos de La Niña (Costa *et al.*, 2003; Marengo, 2007; Marangoni & Costa, 2012). Adicionalmente, mudanças ambientais de escala regional podem intensificar a hidrodinâmica local, tais como a elevação no nível do mar na costa brasileira (4 mm/ano; Mesquita, 2003) e o incremento de descarga de água doce na bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos (Marengo, 2007). Marangoni & Costa (2012) demonstraram que o nível médio sazonal da água no estuário da Lagoa dos Patos e a frequência de alagamento ao longo da zona entremarés, são indicadores diretos da maior ou menor descarga dos principais rios tributários da Lagoa dos Patos, em particular a descarga do rio Jacuí. O rio Jacuí é o principal tributário da Lagoa dos Patos, contribuindo com 35,4% da média anual de descarga combinada. Logo, o nível de água do estuário e a frequência de alagamento das marismas são medidas indiretas da variação interanual da hidrodinâmica estuarina. O impacto das flutuações hidrológicas já foi observado sobre marismas maduras (Marangoni & Costa, 2012). Durante eventos de El Niño com níveis de água alta, plantas de *Spartina densiflora* que dominam pisos entremarés médios, apresentam menores taxas de crescimento e tem seus pisos invadidos por rizomas e hastes de *S. alterniflora*. Após os eventos de El Niño, as hastes de *S. alterniflora* são competitivamente excluídas por *S. densiflora*, demonstrando que o estresse fisiológico de alagamento pode influenciar as interações competitivas entre as plantas dominantes. No entanto, nada é conhecido sobre o impacto de variações hidrológicas interanuais sobre marismas em formação, como as criadas pelo plantio de *S. alterniflora*.

Este trabalho visou avaliar os papéis da variabilidade hidrológica interanual

(forçante alogênico), estimada pelas médias anuais do nível de água do estuário e da frequência de alagamento do entremarés, sensu Marangoni & Costa (2012) e das respostas autogênicas no desenvolvimento estrutural de uma marisma criada pelo plantio da *S. alterniflora* no estuário micromareal da Lagoa dos Patos (RS), através da quantificação nos três primeiros anos pós-criação das trocas edáficas, das características físico-químicas da água intersticial e da biomassa vegetal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Produção de mudas

Mudas da grama nativa de marisma *S. alterniflora* foram obtidas através de propagação vegetativa de plantas coletadas, no início da primavera 2011, na marisma da Ilha da Pólvora (Rio Grande, RS, Brasil, 32°02'36" S; 52°04'09" W). Essas plantas foram multiplicadas a partir de perfilhamento individual em bandejas de solo formado por composto orgânico e areia fina de praia na proporção de 3:1, conforme o protocolo de cultivo em estufa não aclimatizada de Azevedo *et al.* (no prelo). Após 30-60 dias de multiplicação, foram obtidas mudas de tamanho similar contendo uma haste (colmo) com raízes e fragmentos de rizomas.

2.2. Localização da área de estudo e plantio da grama bioengenheira

O plantio foi efetuado em 19/05/2012, sobre um plano entremarés arenolodoso não vegetado na margem norte da enseada protegida do Saco da Mangueira (Bairro Junção, Rio Grande, RS), na proximidade da Universidade Anhanguera (32° 02' 46" S; 52° 06' 06" W). Nesta margem circundada por marismas naturais foram demarcados dois blocos de plantio de 9 m X 21 m (B1 e B2) (**Figura 1**). Em cada bloco, efetuou-se o plantio de 189 mudas de *Spartina alterniflora* com o espaçamento de um metro entre plantas.

O estabelecimento das plantas foi avaliado aos 3 e 9 meses após a data do plantio. Nestas duas datas foram quantificados o número de hastes sobreviventes, as alturas destas hastes, o número de perfilhos (propagação vegetativa do rizoma) e a expansão lateral de cada planta transplantada (maior distância entre a muda e perfilho

produzido por crescimento clonal; mm). Para permitir uma melhor visualização da distribuição espacial das plantas sobreviventes, houve a subdivisão de cada bloco em 6 parcelas de 3 colunas e de 10-11 linhas (faixas paralelas a margem com 3 m de largura), dentro das quais a frequência das plantas sobreviventes foi calculada.

2.3. Condições Meteorológicas e Hidrológicas

Dados diários de temperatura do ar e precipitação foram obtidos da estação meteorológica automática INMET-FURG (Instituto Nacional de Meteorologia; 5 km do local do plantio). Dados diários da altura (régua graduada, cm) e salinidade (refratômetro) da água do estuário foram obtidos no ponto de monitoramento hidrológico do programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração-PELD, localizado no Porto Rei (Ilha dos Marinheiros), a 7 km do plantio. Marangoni & Costa (2012) demonstram que tanto a frequência de alagamento sobre a zona entremarés como o nível médio da água do estuário da Lagoa dos Patos estão diretamente relacionados com a vazão do rio Jacuí, que é o tributário mais importante da Lagoa dos Patos, contribuindo com 35,4% da média anual de descargas combinadas.

2.4. Coleta sazonal de dados abióticos da água intersticial

De setembro/2012 a fevereiro/2015, a cada três meses foi efetuado o monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água intersticial nos dois blocos. Em cada bloco coletaram-se 8 amostras de água intersticial: 4 amostras a 1 m da linha de plantio superior e 4 amostras a 1 m da linha de plantio inferior. As amostras da água intersticial foram coletadas de fossos de 10 cm de profundidade e 5 cm de diâmetro, cavados no momento da coleta, para onde a água intersticial percolou e foi extraída com auxílio de uma seringa com uma ponteira de pedra porosa. As amostras coletadas foram acondicionadas em frascos plásticos identificados (200 ml), que foram resfriados em caixa de isopor e levados ao laboratório. No laboratório, cada amostra foi separada em duas alíquotas. Da primeira alíquota foram quantificados os dados de pH e potencial Redox (medidor DigiSense), condutividade elétrica (condutivímetro digital Hanna - Modelo HI 9835) e salinidade (refratômetro American Optical). A segunda alíquota das amostras foi filtrada num sistema de filtração a vácuo, com a utilização de filtro

microfibra de vidro GF/5 47 mm, da marca Macherey Nagel. Cada filtrado foi separado em sub-alíquotas, guardadas em frascos plásticos do tipo falcon etiquetados e congeladas, para posterior análise de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e fosfato.

Quando da análise dos nutrientes da água intersticial, as amostras foram descongeladas, diluídas na proporção de 10 ml de amostra para 90 ml de água destilada. Nas análises de nitrito, fosfato e nitrogênio amoniacal foram utilizadas 25 ml da solução (amostra+água destilada), enquanto que nas análises de nitrato foram necessárias 100 ml da solução. Os reagentes específicos foram adicionados para cada nutriente (no caso do fosfato, nitrito e nitrogênio amoniacal), após o tempo correto de reação foi efetuada a leitura das absorvâncias no espectrofotômetro (UV-VIS Cary Varian). Cada nutriente foi analisado dentro do seu comprimento de onda específico e no tamanho de cubeta adequado: 1cm de TO (trajeto ótico) para nitrogênio amoniacal e nitrato e de 5 cm de TO, para as leituras de nitrito e fosfato.

Utilizaram-se para a análise do nitrato colunas redutoras preenchidas por uma combinação constituída por grãos de cádmio tratados com solução cúprica (cádmio envelopado com cobre). Passaram-se as amostras pelas colunas de cádmio, acrescentaram-se as soluções R1, após dois minutos R2, em seguida houve a leitura das absorvâncias no espectrofotômetro. As análises dos nutrientes seguiram o protocolo descrito por Baumgarten *et al.* (1996).

2.5. Coleta anual de parâmetros estruturais abióticos e bióticos

Após o plantio e ao final de cada ano de monitoramento (12, 24 e 36 meses), foram quantificadas a topografia, as características edáficas do sedimento superficial e as biomassas aérea e subterrânea formada nos blocos de marisma criados. Um marco de concreto foi georefenciado na margem e a topografia foi estimada em 12 pontos em cada bloco por meio de um nível laser (FPM Holding GMBH). A altura topográfica média dos blocos de plantio foi relacionada com o nível médio da Lagoa (NML=44 cm) no período da década anterior (2001-2011), através de medidas simultâneas do nível de água na área de plantio e no ponto de monitoramento hidrológico do PELD.

Quatro amostras de sedimentos superficiais (0-5 cm) foram coletadas em cada bloco (duas na porção superior e duas na porção inferior dos plantios), para análise

granulométrica (peneiramento das frações de areia seguido de pipetagem das frações de silte e argilas; Mendonça & Costa, 2008) e do teor de matéria orgânica (combustão à 500 °C em mufla por 6 horas; Brower & Zar, 1977).

Em cada bloco, a biomassa aérea foi determinada pela poda da vegetação e a retirada do detrito em 4 quadrados amostrais de 0,50 m x 0,50 m, dois posicionados nas porções superiores e dois nas porções inferiores da área plantada. Para a estimativa da biomassa subterrânea, coletou-se na parte central de cada quadrado amostral um testemunho com tubo de PVC de 5 cm de diâmetro, enterrado a uma profundidade de 45 cm no sedimento. No laboratório, hastes e raízes foram lavadas com água de torneira, e para amostras de biomassa aérea foram separadas e contadas todas as hastes com e sem inflorescências. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 60 °C por 48 horas e pesadas ($\pm 0,1$ mg).

2.6. Análise dos dados

Diferenças entre as médias de topografia, características edáficas, parâmetros físico-químicos e nutrientes da água intersticial foram comparadas entre blocos de plantio e datas amostrais sazonais através de Análise de Variância Bifatorial, a 5 % de significância (Zar, 2010).

A sobrevivência das mudas de *S. alterniflora* foi comparada dentro de cada bloco (subdivisões) e entre blocos de plantio nas datas de monitoramento (após 3 e 9 meses) através de Análises de Chi-quadrado (χ^2), a 5 % de significância (Siegel, 1975).

O desenvolvimento estrutural da marisma entre blocos de plantio e anos de monitoramento em termos de densidade de hastes de *S. alterniflora*, biomassas aérea e subterrânea, e alocação para proporção de biomassa subterrânea foi analisado através de Análises de Variância Bifatorial (Zar, 2010).

Quando necessário, os parâmetros analisados por Análises de Variância foram transformados para atender os pré-requisitos de normalidade e homocedasticidade (Zar, 2010). Desta maneira, altura topográfica, Redox, pH, nitrito, altura de hastes, número de perfilhos, taxa de perfilhamento, biomassa aérea, biomassa subterrânea, proporção de biomassa subterrânea e densidade de hastes foram transformados por $\log_{10}(x)$; nitrogênio amoniacal, fosfato, expansão e taxa de expansão por $\log_{10}(x+1)$.

3. RESULTADOS

3.1. Condições climáticas e principais fatores abióticos locais

O período entre os verões de 2012 e 2013 foi caracterizado por marcadas amplitudes térmicas, de médias mensais de máximas em torno de 30° C a médias de mínimas em torno de 5° C (**Figura 2A**), além de baixas quantidades de chuvas (e.g. apenas 8 mm no outono e um total de 653,5 mm em 2012; **Figura 2B**). Ao longo do período 2013-2014 e início de 2015 maiores volumes de chuvas caíram de forma regular ao longo dos meses (e.g. um acumulado em 2014 de 1632,3 mm), resultando em maior umidade, tamponamento das amplitudes térmicas e temperaturas mínimas mais amenas.

Devido a este ciclo de chuvas, a altura das águas do estuário esteve abaixo do nível médio decadal da Lagoa (NML) ao longo do ano de 2012, especialmente no outono (-23 cm NML) e primavera (-25 cm NML), quando maiores salinidades médias da água foram observadas (23 a 26). As primaveras de 2013 e 2014 mostraram-se progressivamente com águas mais altas e menos salinas, condição que culminou no inverno 2014 quanto águas oligohalinas atingiram +43 cm NML de altura (**Figura 2C**).

3.2 - Topografia, condições edáficas e da água intersticial dos blocos plantados

Dados topográficos registrados nos dois blocos plantados com *S. alterniflora* foram medidos um mês e 26 meses após o início do experimento (**Tabela 1**). Os fatores tempo de desenvolvimento e a interação bloco x tempo tiveram efeitos acentuados sobre a topografia. Medidas topográficas iniciais (mês 1) no bloco 2 demonstraram que este era sete centímetros mais baixo que o bloco 1, sendo essa diferença significativa. Aos 26 meses, ambos os blocos sofreram acreção de sedimentos, sendo de 15 cm no bloco 2, enquanto que no bloco 1 houve acreção de apenas 3 cm no final do experimento (**Tabela 1**). Devido às suas topografias, os blocos 1 e 2 foram submetidos, respectivamente, a frequências de alagamento estimadas de 32,9 % (2012) - 69,5 % (2014) e 51,5 % (2012) - 61,9 % (2014).

Ocorreu um marcado e significativo enriquecimento de argilas e matéria orgânica ao longo do desenvolvimento da marisma (**Tabela 2**), mas principalmente no último ano (**Figura 3**). Inicialmente os dois blocos B1 e B2 exibiam porcentagens

médias de areias entre $92,7 \pm 0,7 \%$ e $93,5 \pm 0,7 \%$ em 2012. Em 2015, houve o acúmulo de argilas e matéria orgânica no sedimento chegando a valores médios de, respectivamente, $21,9 \pm 10,9 \%$ e $14,67 \pm 4,57 \%$ (**Figura 3**). Os teores de siltes não apresentaram um padrão semelhante, apenas flutuando entre amostragens.

De forma geral, os blocos demonstraram um padrão temporal visualmente muito semelhante dos valores de Redox, pH, salinidade e condutividade na água intersticial (**Figura 4A, 4B, 4C e 4D**). Valores significativamente maiores de Redox (exceto o inverno de 2014) e de pH ocorreram após o verão 2014, quando salinidades e condutividades significativamente menores foram observadas. A interação Bloco X Amostragem significativa (**Tabela 3**) parece ter sido ocasionada por um aumento mais acentuado do Redox e queda menos acentuada da condutividade no verão-outono 2014 dentro do bloco 2 do que no bloco 1 (**Figura 4A, 4D**). Foi observada uma marcada flutuação temporal nas concentrações de nitrogênio amoniacal intersticial (**Tabela 3**), ocorrendo um pico da concentração média no verão de 2014, em ambos os blocos, porém o bloco 1 manifestou maiores teores ($4,82 \pm 1,6 \text{ mg/L}$) (**Figura 5A**). As concentrações de fosfato também apontam um pico deste elemento no verão de 2014, mais acentuado no bloco 1, onde as concentrações médias foram três vezes maiores ($0,90 \pm 0,30 \text{ mg/L}$) do que as encontradas no bloco 2 ($0,30 \pm 0,12 \text{ mg/L}$). Um segundo pico nas concentrações de fosfato foi notado na primavera-verão seguinte nos dois blocos, após o período seco com águas baixas do outono 2014 (**Figura 5B**). O fosfato foi significativamente mais alto no bloco 1 topograficamente mais baixo.

Os nutrientes com os menores teores registrados foram o nitrito e o nitrato. O nitrato não foi detectado nas análises de nutrientes, ou seja, no limite de detecção utilizado para a análise das amostras, esteve abaixo de $0,005 \mu\text{M}$ em cubeta de 10 cm de trajeto ótico que corresponde a uma absorvância de 0,0025. A distribuição de nitrito esteve relacionada com as estações ($F= 15,87$; $p<0,001$) (**Tabela 3**). O nitrito mostrou concentrações baixas, porém ainda detectáveis e com quantidades semelhantes em ambos os blocos. Maiores teores foram notados na primavera de 2014 no bloco 1 ($B1= 0,07 \pm 0,02 \text{ mg/L}$) e bloco 2 ($B2= 0,05 \text{ mg/L}$), além no verão de 2014 no bloco 2 ($B2= 0,04 \text{ mg/L}$) (**Figura 5C**).

3.3 - Parâmetros bióticos de estabelecimento e sobrevivência

Das 189 mudas plantadas em cada bloco, a sobrevivência global após 3 e 9 meses do plantio foram, respectivamente, 84,1% e 42,9%. Nas duas datas de monitoramento os blocos mostraram diferenças significativas nas suas sobrevivências, maior em B1 aos 3 meses (89,9% contra B2= 78,3; $\chi^2= 6,88$; $p<0,001$) e, posteriormente, maior em B2 (56,1% contra B1= 29,6; $\chi^2= 22,79$; $p<0,001$). Dados bióticos como altura das hastes, número de perfilhos e expansão horizontal do tufo por perfilhos produzidos pelas mudas sobreviventes de *S. alterniflora* mostraram um rápido desenvolvimento em ambos blocos (**Figura 6A-C**), entretanto com um estímulo maior ao perfilhamento e ganho em altura das plantas no bloco 2 entre os monitoramentos de 3 e 9 meses (diferenças significativas entre blocos e interação bloco X tempo, **Tabela 4**). Aos nove meses, o bloco 2 ($145,2 \pm 9,5$ perfilhos) apresentou o dobro de perfilhos em relação ao bloco 1 ($74,9 \pm 9,7$ perfilhos) (**Figura 6B**). A comparação das taxas de perfilhamento e expansão horizontal das plantas entre datas de observação demonstra que a colonização em ambos os blocos não ocorreu de forma linear, mas aceleraram significativamente no segundo intervalo de monitoramento (**Figura 6D-E**). Por exemplo, as taxas médias de expansão horizontal de 3,0 a 3,4 cm/mês nos primeiros 3 meses pularam para 6,1 a 7,8 cm/mês entre os meses 0-3 e 3-9.

As formações das biomassas aéreas e subterrâneas nas marismas criadas nos blocos 1 e 2 cresceram significativamente até valores máximos de verão-outono no segundo ano após o plantio (2014), respectivamente, de $1.324,9 \pm 46,0$ a $1.364,4 \pm 58,8$ g/m² e de $797,8 \pm 33,0$ a $809,5 \pm 10,0$ g/m² (**Figura 7A**). Não ocorreram diferenças significativas na formação de biomassa entre blocos (**Tabela 5**). Durante o primeiro ano de crescimento (2013) ocorreu um grande investimento na ocupação do sedimento por raízes, com valores médios da proporção de biomassa subterrânea dos blocos variando entre 50 e 75% da biomassa total formada (**Figura 7A**). No segundo ano (2014) esta proporção caiu para valores médios entre 37 e 38%, subindo um pouco novamente até cerca de 45-47% no terceiro ano (2015)(**Figura 7A**). De certa forma as coletas de biomassas subterrâneas amostrais podem ter colaborado para esta diminuição na proporção de biomassa subterrânea.

O comportamento temporal da densidade de hastes de *S. alterniflora*

acompanhou o padrão da biomassa aérea (**Figura 7B**), atingindo valores máximos a partir do segundo ano (2013), de $161,8 \pm 25,6$ hastes/m² (B2 em 2013) flutuando a $110,3 \pm 29,7$ (B1 em 2015). As densidades foram maiores no bloco 2, mas de forma significativa apenas em 2013, e estas diferenças resultaram em interação bloco X ano significativa (**Tabela 5**). A produção de inflorescências já ocorre a partir do primeiro ano (2013) com valores médios um pouco maiores (mas sem significância estatística, **Tabela 5**) no bloco 2 em 2015, onde $8,9 \pm 3,8\%$ das hastes floresceram (**Figura 7C**).

4. DISCUSSÃO

O desenvolvimento de fundos vegetados de marismas a partir do plantio da grama bioengenhreira *S. alterniflora* no estuário micromareal da Lagoa dos Patos progride de forma autogênica, apesar das grandes flutuações interanuais nas condições de alagamento e salinidade da água, determinadas por forçantes hidrológicas regionais. Condições de circulação local aparentemente podem favorecer esta resposta autogênica, possibilitando maior perfilhamento de hastes, trapeamento de sedimento fino e soerguimento da marisma.

4.1. Forçante hidrológico

De acordo com dados publicados nos boletins mensais Infoclima (<http://infoclima.cptec.inpe.br/>) e Climanalise (<http://climanalise.cptec.inpe.br/>) do Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais – INPE, o início do período de monitoramento da marisma criada caracterizou-se pela ocorrência de um evento de La Niña com intensidade moderada ao longo do Pacífico Equatorial (águas em camadas profundas com valores até 3°C abaixo da climatologia), cujos efeitos na circulação atmosférica persistiram até junho 2012. Após ocorreu condições de neutralidade até o verão 2014, seguidas da detecção em junho 2014 de uma fase quente do ENOS (El Niño) que atingiu intensidade moderada em junho de 2015 (águas a 2°C mais quentes). Adicionalmente, condições climáticas sobre o Atlântico sudoeste resultaram em excesso de chuva durante o verão 2014 no Rio Grande do Sul. Na cidade de Torres-RS, ocorreu um volume acumulado de chuvas no mês de fevereiro 2014 de 432 mm (média normal

= 154,8 mm), sendo que 408 mm ocorreram em apenas cinco dias. Os fenômenos citados acima resultaram em um grande volume de água captado pela bacia de drenagem da Lagoa dos Patos nos anos de 2014 e 2015, com consequentes águas altas e pouco salinas no estuário.

Eventos ENOS de intensidade moderada a forte alteram profundamente a circulação das águas na região do estuário da Lagoa dos Patos, bem como os processos de salinização ou dessalinização (Möller & Fernandes, 2010; Odebrecht *et al.*, 2013). Associadas a eventos de El Niño ocorrem altas descargas dos rios, o que impede o avanço das águas salinas e a salinização da laguna (Marangoni & Costa, 2012, Möller & Fernandes, 2010; Odebrecht *et al.*, 2013), enquanto que os eventos de La Niña, estão associados aos períodos de baixas descargas fluviais e pela maior ação dos ventos SO, que favorecem à salinização da Lagoa dos Patos (Möller & Fernandes, 2010). Consequentemente, o padrão hidrológico interanual observado durante o presente estudo seguiu o comportamento de pulsos episódicos de excessiva vazão ou baixa vazão típicos dos efeitos regionais de ENOS com intensidades moderada a neutralidade. Apesar desta variabilidade, a marisma criada progrediu em seu desenvolvimento atingindo características estruturais muito próximas de marismas jovens já estabelecidas no estuário (veja seção 3.2 e 3.5 do capítulo II).

Estudos anteriores caracterizaram o impacto dos pulsos hidrológicos no estuário sobre marismas já estabelecidas. Eventos de El Niño de intensidade moderada causam perturbações hidrológicas (águas altas) que podem acarretar retrações de cerca de 16,5% da área de marismas nativas estabelecidas no estuário da Lagoa dos Patos, principalmente devido erosão causada por ondas, que não tem sua energia dispersada por bancos de areia submareais antes de chegar a margem da marisma (Marangoni & Costa, 2012). Antagonicamente, a maior quantidade de umidade na atmosfera durante eventos de El Niño resulta em menores perdas de calor durante as noites (maiores temperaturas mínimas)(Marengo, 2007), calor este gerado durante o dia pelo efeito do aquecimento pela radiação solar da baixa atmosfera. Cunha *et al.* (2005) mostrou que maiores temperaturas médias são registradas durante anos de El Niño e que estas podem aumentar a produção de biomassa de *S. alterniflora*, planta C4 com pico de crescimento no verão- outono (Silva *et al.*, 1993; Copertino *et al.*, 1997; Seeliger *et al.*, 1997).

4.2. Estabelecimento das mudas

O primeiro mês após o plantio costuma ser o mais crítico na fase do estabelecimento (Costa, 2011), onde a muda recém plantada e ainda não enraizada, precisa suportar estresses e perturbações como alterações no alagamento e salinidade, fortes ventos e impacto das ondas, soterramento por material de deriva, herbivoria, pisoteio e vandalismo (Mendonça & Costa, 2008; Costa, 2011; Marangoni & Costa, 2012). Após três meses as plantas que conseguem sobreviver tem sucesso em sua ocupação espacial (Costa, 2011).

Comparando as sobrevivências médias das mudas de *S. alterniflora* nove meses após o plantio no bloco 1 (32 %) e no bloco 2 (55 %), com outras marismas criadas no estuário da Lagoa dos Patos, estes blocos possuem valores intermediários. Marangoni & Costa (2012) observaram uma sobrevivência de 35% de hastes plantadas, mas em uma margem sujeita a intensa herbivoria pelo caranguejo cavador *Neohelice granulata* (Costa *et al.*, 2003). Valores maiores (78-80%) são citados para margens não colonizadas por este caranguejo (Mendonça & Costa, 2008; Costa *et al.*, 2012). Entretanto baixa taxa de sobrevivência (22 %) foi encontrada em uma margem exposta à ação dos fortes ventos SW-SE e ondas, que causam perturbação e alta mortalidade (Costa, 2011). Todos resultados citados acima apresentam semelhanças com os obtidos em transplantes desta mesma gramínea, realizados em marismas micromareais do Alabama e Mississipi (USA), cujas sobrevivências variaram de 0 a 65% (Coultas *et al.*, 1978; Kruczynski, 1982).

A mortalidade observada nos blocos 1 e 2 foi causada principalmente devido a retirada das mudas por ondas ou intenso refluxo de água junto a margem. Constatou-se aos três meses, que as mudas junto às margens interiores dos blocos tiveram uma alta mortalidade, provavelmente pela passagem das ondas e o posterior carreamento de material de deriva depositado nas margens, para cima das mudas, arrancando-as ou danificando-as. Já aos nove meses, a maioria das plantas que morreram estavam junto às margens laterais e mais externas dos blocos, menos protegidas e mais expostas às ondas. A ausência inicial deste caranguejo *N. granulata* na época do estabelecimento das mudas representou uma grande vantagem no sucesso da colonização das plantas nos blocos. No entanto, foi observado em ambos os blocos a presença do siri-azul

(*Callinectes sapidus*), predador de *N. granulata*.

S. alterniflora é uma espécie fundadora de marismas (Chung, 1993; Costa, 2011) sendo a pioneira na colonização de planos entremarés baixos e dominante no estuário da Lagoa dos Patos (Costa *et al.*, 1997). Esta gramínea utiliza a propagação vegetativa através de seus rizomas como o principal mecanismo para a ocupação espacial e a manutenção de suas populações locais (Bertness & Ellison, 1987).

A ocupação espacial dos sedimentos pelos rizomas, raízes e perfilhos de *S. alterniflora* mostrou um crescimento progressivamente acelerado e isto ficou evidente com o passar do tempo nos blocos. Esta é uma característica da espécie, que demonstra um aumento exponencial da expansão lateral de seus rizomas sobre planos de lama não colonizados (Costa & Marangoni, 1997; Marangoni & Costa 2012). As taxas médias de expansão horizontal de *S. alterniflora* do presente estudo (entre 54 a 67 cm/ano) foram semelhantes às encontradas no estuário da Lagoa dos Patos por Mendonça & Costa (2008), na marisma criada Lar Gaúcho (51 a 84 cm/ano) e Costa *et al.* (2012) na marisma criada Santa Teresa (34 a 67 cm/ano), ambas marismas citadas foram monitoradas oito meses após o plantio. Marangoni & Costa (2012) encontraram valores de até 208 cm/ano, em plantio na localidade da Ilha da Pólvora. Valores similares foram observados para marismas na costa atlântica (Metcalf *et al.*, 1986; 35 a 60 cm/ano) e pacífica dos Estados Unidos (Sayce, 1988; 50 cm/ano; e Ratchford, 1995; 60 cm/ano).

Assim como a expansão lateral dos rizomas, a produção média de novas hastes (perfilhos) foi bastante expressiva, de 15 (B1) a 29 (B2) hastes/mês ao longo dos nove meses após o plantio. A quantidade de perfilhos produzidas após 3 meses (1 a 52 hastes/muda) foi maior do que a de estudos anteriores desenvolvidos em marismas criadas com *S. alterniflora*, que encontraram perfilhamentos no período de estabelecimento de 5 a 25 hastes/muda em 3-7 meses após o plantio (Costa *et al.* 2003; Mendonça & Costa, 2008; Costa *et al.*, 2012).

A altura média das hastes triplicou no intervalo de seis meses entre observações no estabelecimento nos blocos 1 e 2 respectivamente, de 33-37 cm para 104-107 cm. Este fenótipo alto de *S. alterniflora* (com hastes entre 1-2 m de altura) é característico de marismas baixas, e contrasta com um fenótipo baixo de hastes com até 0,50 m mais frequentes em zonas mais altas (Cunha *et al.*, 1995; Copertino, 1995; Peixoto, 1997;

Azevedo, 2000). Este fenotipo alto está relacionado aos recursos dos nutrientes dissolvidos no sedimento eutrofizado do Saco da Mangueira, e as plantas são maiores do que das marismas criadas do Lar Gaucho (altura média= 73 cm) (Costa, 2011) e Santa Teresa (altura média = 35 cm) (Costa *et al.*, 2012). Os valores mais elevados de altura dos blocos foram similares aos das plantas de *S. alterniflora* de marismas criadas ao longo da costa da Carolina do Norte (EUA) de DOT (80 cm), Consultant (100 cm) e Port (100 cm) com, respectivamente 1, 3 e 8 anos (Craft *et al.*, 2003), como também de plantas da marisma criada (2,4 anos = 123 cm) no estuário do rio Cape Fear (Seneca *et al.*, 1985). Períodos de águas baixas e menos estressantes para as plantas, contribuem para uma rápida expansão dos rizomas sobre os planos de lama (Marangoni & Costa, 2012); as águas baixas para o tipo de piso entremarés dos blocos (com alturas entre -16 a -23 cm NML) que ocorreram em 2012 e no verão de 2013, favoreceram o estabelecimento das plantas. Mesmo as altas salinidades do outono de 2012 e verão de 2013 estiveram dentro de uma faixa pouco estressante para *S. alterniflora* (Cunha *et al.*, 2005). A localização da marisma criada no presente estudo, no Saco da Mangueira, e as condições eutrofizadas desta enseada (Almeida *et al.*, 1993) possivelmente contribuíram o rápido crescimento das plantas transplantadas. Os teores frequentemente positivos do Redox na marisma refletem a intensa ação de ondas sobre a margem, já comentado quando da descrição das causas de mortes das mudas no plantio. A circulação de água pela ação das ondas favorece o fornecimento de nutrientes e oxigena o sedimento, além de retirar compostos tóxicos, como os sulfetos que podem ser prejudiciais para as plantas (Pennings & Bertness, 2001, Mendonça & Costa, 2008).

4.3. Estruturação autogênica da marisma ao longo dos três anos

A mais rápida elevação da área do entremarés mais densamente vegetada após o segundo ano de plantio (bloco 2) e as alterações granulométricas observadas em ambos os blocos, como a diminuição das frações de areia e o aumento do teor de argilas, caracterizam a atividade bioengenheira de *S. alterniflora*, que modifica as condições físico-químicas do sedimento (Mendonça & Costa, 2008). As cargas de materiais em suspensão nas águas do estuário variam sazonalmente entre médias de 50 a 350 mg/L, sendo 95% deste material siltes e argilas (Seeliger & Costa, 2002). O aumento da altura

e da densidade vegetal em ambos os blocos observada desde 2013, contribuiu para diminuição da velocidade das ondas e do fluxo local das águas (Bouma *et al.*, 2005), e depósito dos sedimentos em suspensão e que pode ser fixado por suas raízes (Costa, 2011; Costa *et al.*, 2012). Bouma *et al.* (2005) quantificou a atenuação da altura (energia) de ondas atingindo marismas dominadas por *Spartina anglica* na costa da Holanda, demonstrando que um fundo vegetado com 10 m de largura, uma densidade de 225 hastes/m² e altura média das hastes de 35 cm foi capaz de absorver 60% da energia das ondas, sob uma lâmina d'água de 45 cm de altura. Estas características não são muito diferentes das observadas na marisma criada, que inclusive possuía hastes com uma maior altura média. As maiores densidades médias de hastes de *Spartina alterniflora* foram observadas em 2013 (138-162 hastes/m²) após rápida ocupação do plano entremarés em ambos os blocos e o posterior acúmulo de biomassa aérea e subterrânea na marisma. Os valores de densidade citados acima são menores do que de marismas maduras do estuário da Lagoa dos Patos (RS), que variaram entre 380 hastes/m² (Copertino *et al.*, 1997) e 613 hastes/m² (Costa *et al.*, 2003). Entretanto, os valores da marisma criada são semelhantes aos das marismas criadas DOT (1 ano = 200 hastes/m²) e Consultant (3 anos = 250 hastes/m²) na Carolina do Norte (Craft *et al.*, 2003).

O papel autogênico protagonista do desenvolvimento da marisma criada no estuário da Lagoa dos Patos é evidenciado pelo maior soerguimento e deposição de finos no bloco 2, com maior cobertura vegetal. Azevedo (2000) observou uma maior deposição de sedimentos em áreas vegetadas (+2,3 cm/ano) do que não vegetadas (+1,4 cm/ano) de uma marisma estuarina da Lagoa dos Patos. Estes valores estão dentro da amplitude das médias quantificadas no presente estudo (1,3 a 6,9 cm/ano) e de altas taxas de sedimentação registradas em marismas criadas de *S. alterniflora* com pouca idade na costa atlântica dos Estados Unidos (Craft *et al.*, 2003). O soerguimento associado ao aumento da área vegetada por *S. alterniflora*, que consegue transportar o oxigênio da atmosfera até a rizosfera por aerênquimas muito desenvolvidos em seus tecidos, possibilita uma maior oxidação do sedimento (Bertness, 1999), permite potenciais Redox mais altos e torna as condições mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas (Pennings & Bertness, 2001; Mendonça & Costa, 2008).

Diferenças nas concentrações dos nutrientes intersticiais entre blocos podem refletir também o vigor da alteração autogênica. Os padrões temporais do nitrogênio amoniacal e do fosfato apresentaram picos destes elementos em períodos de aumentos de chuva e vazão no verão (tempestades episódicas com grandes volumes) e inverno-primavera 2014 (sob influência de El Niño). Altos teores destes nutrientes dissolvidos nas águas do estuário são frequentemente relacionados a períodos chuvosos de maior volume de drenagem continental (Odebrecht *et al.*, 2013). Maiores salinidades no verão de 2014 também podem ter interagido com o sedimento (Costa *et al.*, 1982), liberando estes nutrientes antes aprisionados no sedimento (Abreu *et al.*, 2010). Entretanto, menores teores de fosfato associados aos maiores Redox no bloco 2 do que no bloco 1, refletem o ambiente mais oxidado no bloco 2, gerado pelo maior adensamento de hastes e consequente capacidade de oxigenação do sedimento. O aumento do potencial Redox no sedimento faz com que o fosfato combine-se com o ferro oxidado e com o óxido de alumínio e forme precipitados, o que o torna menos disponível na água intersticial (Broome *et al.*, 1983; Marangoni, 2001). Adicionalmente, menores teores de fosfato na água intersticial foram observados por Mendonça & Costa (2008) em áreas de plantio mais densamente vegetadas por hastes mais altas de *S. alterniflora* após 5 meses de estabelecimento, sugerindo que a oxidação do sedimento pelo aerênquima das plantas bem vigorosas e consequente precipitação de fósforo combinado com elementos metálicos seria responsável pelos menores teores de fosfato. A ação autogênica teria um papel determinante nas características edáficas e de disponibilidade de nutrientes na área vegetada.

As maiores porcentagens de hastes com inflorescências na marisma criada foram registradas em 2015 (5,9-8,9% das hastes). A produção de inflorescências e sementes em *S. alterniflora* é irregular e mostra irregularidade interanual e local, devido à grande predação das inflorescências por insetos e aves (Copertino, 1995), mecanismos abortivos contra a auto-fecundação, interferências causadas por excesso de chuvas ou então alagamentos sobre a polinização (Azevedo, 2000; Marangoni, 2001; Costa & Marangoni, 2010). Portanto, o crescimento vegetativo através de rizomas é a principal forma de reprodução e de ocupação de novas áreas por esta gramínea (Costa & Marangoni, 2010).

A biomassa aérea e subterrânea acumulou-se rapidamente na marisma, atingindo em 2-3 anos valores equivalentes à de marismas já estabelecidas a vários anos. Os maiores picos de biomassa aérea de *S. alterniflora* registrados respectivamente nos blocos 1 e 2 (1.324,9 a 1.364,4 g/m²) no segundo ano após o plantio foram semelhantes aos dados de pico de biomassa para marismas naturais de *S. alterniflora* já estabelecidas no Saco na Mangueira, que foi de 1,300 g/m², observados por Peixoto & Costa (1997), bem como um pouco menores do que de marismas jovens (1.325,5 a 1.888,0 g/m²) avaliadas no estudo de comparação de marismas criadas e naturais (capítulo número II). Todos valores citados acima são muito maiores do que os observados por esta espécie, em marismas não eutrofizadas, fora do Saco da Mangueira (670 g/m², Cunha *et al.*, 2005; 823 g/m², Costa *et al.*, 2004). Os picos de biomassa aérea dos blocos 1 e 2 foram também superiores às produções de oito marismas criadas norte-americanas. Estas marismas com idades entre 1 a 28 anos, localizadas nas costas da Carolina do Norte (EUA) e vegetadas com *S. alterniflora*, com o mesmo tipo de solo e expostas a igual regime mareal (1,0 a 1,2 m), tiveram as suas biomassas de pico de verão variando entre 380 a 1,180 g/m² (Craft *et al.*, 2003). Nestas marismas acima citadas, as biomassas aéreas não atingiram equivalência a marismas naturais de referência.

Quanto a biomassa subterrânea, existem poucos dados no estuário da Lagoa dos Patos. Os valores de biomassa subterrânea dos blocos plantados foram inferiores aos valores encontrados por Cunha *et al.* (2005) de 1.561,9 g/m², e próximas dos 1.121,5 g/m² de marisma natural de referência jovem no Saco da Mangueira (capítulo número II). Tanto a estabilização da quantidade de biomassa subterrânea como seu percentual em relação a biomassa total (cerca de 45%) indicam um auto grau de desenvolvimento das marismas criada após 3 anos de desenvolvimento. Uma grande quantidade da biomassa é constituída de tecido não fotossintetizante de reserva e capaz de alocação de nutrientes obtidos pelo sistema (Cunha *et al.*, 2005), característico de sistemas mais maduros que reciclam boa parte dos nutrientes disponíveis (Mitsch & Gosselink, 2007). A biomassa subterrânea acumulada na marisma criada Anhanguera foi maior do que a das marismas criadas Consultant (3 anos, 700 g/m²) e DOT (1 ano, 100 g/m²) avaliadas na Carolina do Norte (Craft *et al.*, 2003). Outros autores sugerem que a equivalência de produções de biomassa subterrânea entre marismas criadas e naturais de referência pode

levar 3 a 15 anos (Broome *et al.*, 1986; Craft *et al.*, 1999; 2002; 2003).

O rápido desenvolvimento estrutural da marisma criada no presente estudo parece ser explicado pelo alto grau de eutrofização do Saco da Mangueira. O desenvolvimento urbano-industrial e a concentração demográfica junto ao Saco da Mangueira contribuem para sua eutrofização, influenciando as características físicas e químicas dos sedimentos (Almeida *et al.*, 1993; Odebrecht *et al.*, 2011). O Saco da Mangueira possui sedimentos lamosos com características redutoras (Odebrecht *et al.*, 2013), onde nas camadas mais profundas são enriquecidas com nitrogênio amoniacal e fosfato, que contribuem para as suas formas dissolvidas na água intersticial (Abreu *et al.*, 2010). Concentrações médias de nitrogênio na forma de nitrogênio amoniacal, variando de 1,8 a 5,5 mg/L, e de fósforo na forma de fosfato, entre 0,2 e 1,8 mg/L, foram registradas na água intersticial do sedimento superficial (0-13 cm) do Saco da Mangueira (Baumgarten *et al.*, 2001). Na mesma enseada, Mendonça & Costa (2008) quantificaram valores de fósforo como fosfato na água intersticial de uma marisma criada entre 0,03 e 0,23 mg/L. As amplitudes dos valores de nutrientes citados acima são semelhantes a encontrada em nosso monitoramento. Nessa região eutrofizada, as plantas possuem maiores valores intracelulares de nitrogênio isotopicamente mais pesado característico de fontes industriais, se comparados às plantas de regiões não eutrofizadas do estuário (Abreu *et al.* 2006, Mendonça & Costa, 2008).

S. alterniflora responde positivamente ao crescimento quando exposta a ambientes eutrofizados, especialmente com nitrogênio (Broome *et al.*, 1975; Levine *et al.*, 1998; Costa, 2011), e estudos tem apontado maior produção de biomassa aérea destas plantas em locais com maior quantidade de nitrogênio presente no sedimento (Smart & Barko, 1980). Consequentemente, como observado por Carle & Sasser (2015) para a resiliência autogênica de banhados de água doce em deltas ricos em nutrientes, o papel autogênico protagonista no desenvolvimento estrutural das marismas micromareais submetidas a intensos forçantes alogênicos parece ser sustentado pela disponibilidade de grandes quantidades de nutrientes no sedimento.

4.4. Variação espacial entre os blocos

Apesar da pouca distância (10 metros) separando os blocos 1 e 2, algumas

diferenças foram observadas ao longo do período estudado. O bloco 2 inicialmente era mais baixo topograficamente do que o bloco 1 e devido ao acúmulo principalmente de sedimentos finos, elevou-se 15 cm em 3 anos. As maiores deposições de sedimentos finos em ambos os blocos, estavam localizadas nos pontos de coleta na parte continental do plantio desta marisma, junto ao limite superior da marisma voltado à terra firme e onde também os maiores teores de matéria orgânica associados com estes sedimentos foram encontrados. A parte da frontal das marismas sofreu erosão mais acentuadamente.

O bloco 1 sofreu maior erosão, destacada não só por observações locais ao longo do estudo, mas pelo bloco apenas ter tido a acreção de 3 cm ao longo de 3 anos. Este bloco 1 é mais exposto aos ventos e recebe o maior impacto das pequenas ondas de curta duração, que provocam erosão acentuada na marisma, retirando seus sedimentos finos (Souza-Vieira & Hartman, 2008), enquanto que o bloco 2 é mais protegido e menos atingido pelas ondas. Observou-se que as águas altas e menos agitadas transportam os sedimentos finos e assenta-os, resultando em acreção (mais evidente no bloco 2), contrariamente, as águas altas e com ondas são favoráveis à erosão (mais evidente no bloco 1).

Condições microambientais podem ter forte impacto sobre a alocação de recursos em plantas rizomatozas (Cunha *et al.*, 2005), bem como sobre a disponibilidade de nutrientes (Bertness, 1999). Nove meses após o plantio, os blocos já mostravam diferenças; plantas no bloco 1 investiam na ocupação horizontal, expandindo seus rizomas acentuadamente e no bloco 2 era evidente uma maior produção de perfilhos e hastes mais altas. Estas tendências de cada bloco prosseguiram até o final do estudo, onde o bloco 1 teve maior investimento em sua biomassa subterrânea e o bloco 2 com o seu maior investimento em biomassa aérea, observado pelas maiores densidades de hastes e maior produção de inflorescências. Mendonça & Costa (2008) também observaram diferenças no desenvolvimento de plantas de *S. alterniflora* entre blocos de plantio adjacentes, que foram associadas a deficiência de fósforo em função da resposta positiva de crescimento após a adição deste nutriente.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento da marisma criada pelo plantio de *S. alterniflora* progrediu rapidamente, em um estuário submetido a grandes flutuações dos níveis médios da água e da frequência de alagamento na zona entremarés, que são indicadores da grande variabilidade hidrológica entre eventos consecutivos de La Niña e El Niño de intensidades moderadas. Modificações de parâmetros edáficos e físico-químicos do sedimento, bem como acúmulo de biomassa na marisma evidenciaram um papel autogênico protagonista da estruturação deste ambiente, possivelmente suportado pela grande disponibilidade de nutrientes no sedimento da área estudada.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, M.T., DE ALBERNAZ, BAUMGARTEN, M.G.Z. & RODRIGUES, R.M. 1993. Identificação das Possíveis Fontes de Contaminação das Águas que Margeiam a Cidade do Rio Grande - RS. *Documentos Técnicos*, n.06, Rio Grande: FURG, 30 p.
- ABREU, P. C.; COSTA, C.S.B.; BEMVENUTI, C.E.; ODEBRECHT, C.; GRANELLI, W. & ANÉSIO, A.M. 2006. Eutrophication Processes and Trophic Interactions in a Shallow Estuary: Preliminary Results Based on Stable Isotope Analysis (d13C and d15N). *Estuaries and Coasts*, **29**(2): p. 277-285.
- ABREU, P. C.; ODEBRECHT, C. & NIENCHESKI, L.F. 2010. Nutrientes dissolvidos. *In: O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*, U. SEELIGER; C. ODEBRECHT (eds.) Rio Grande: FURG, pp. 43-48.
- ADAM, P. 1990. *Saltmarsh Ecology*. Cambridge University Press. New York. USA 461p.
- ADAM, P. 2002. Saltmarshes in a time of change. *Environment Conservation*, **29** (1): pp. 39-61
- ANGELINI, C.; ALTIERI, A.H.; SILLIMAN, B.R. & BERTNESS, M.D. 2011. Interactions among Foundation Species and their Consequences for Community. *BioScience*, **61**(10): pp. 782-789.

- AZEVEDO, A.M.G. 2000. *Hábitats, Associações Vegetais e Fenologia das Plantas das Marismas da Ilha da Pólvora, Estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil)*.
Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande-RS, 121p.
- BALKE, T.; KLAASSEN, P. C.; GARBUTT, A.; van der WAL, D.; HERMAN, P. M., & BOUMA, T. J. 2012. Conditional outcome of ecosystem engineering: A case study on tussocks of the salt marsh pioneer *Spartina anglica*. *Geomorphology*, **153**, pp. 232-238.
- BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA (2015), disponível em <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa>.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; ROCHA, J.M.B; NIENCHESKI, L.F.H. 1996. *Manual de análises em Oceanografia Química*. Rio Grande, Editora Furg, 143 p.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; NIENCHESKI, L.F.H.; VEECK, L. 2001. Nutrientes na coluna da água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica (RS- Brasil). *Atlântica*, **23**: pp. 101-116.
- BERTNESS, M.D. & ELLISON, A.M. 1987. Determinants of pattern in a New England salt marsh plant community. *Ecological Monographs*, **57** (2), pp. 129–147
- BERTNESS, M.D. 1991. Zonation of *Spartina patens* and *Spartina alterniflora* in New England salt marsh. *Ecology*, **72**: pp. 138-148.
- BERTNESS, M.D. 1999. *The ecology of Atlantic shorelines*. Sinauer associates, Inc. Massachusetts, 417p.
- BOUMA, T. J.; DE VRIES, M. B.; LOW, E.; PERALTA, G.; TÁNCZOS, I. C.; VAN de KOPPEL, J. & HERMAN, P. M. J. 2005. Trade-offs related to ecosystem engineering: a case study on stiffness of emerging macrophytes. *Ecology*, **86**(8), pp. 2187-2199.
- BROOME, S.W.; SENECA, E.D. & WOODHOUSE, W.W. 1983. The effects of source, rate and placement of nitrogen and phosphorus fertilizers on growth of *Spartina alterniflora* transplants in North Carolina. *Estuaries*, **6**(3): pp. 212-226.
- BROOME, S.W., SENECA, E. D. & WOODHOUSE, W.W. 1986. Long-term growth and development of transplants of the salt-marsh grass *Spartina alterniflora*. *Estuaries* **9**: pp. 63–74.

- CARLE, M. V. & SASSER, C. E. 2015. Productivity and Resilience: Long-Term Trends and Storm-Driven Fluctuations in the Plant Community of the Accreting Wax Lake Delta. *Estuaries and Coasts*, pp. 1-17.
- CHUNG, C. 1993. Thirty years of ecological engineering with *Spartina* plantations in China. *Ecological Engineering*, **2**: pp. 261-289.
- CHUNG, C. 2006. Forty years of ecological engineering with *Spartina plantations* in China. *Ecological engineering* **27**: pp. 49–57.
- COPERTINO, M. 1995. *Spartina alterniflora* Loisel. no Estuário da Lagoa dos Patos, RS - Brasil. Desempenho populacional em pântanos irregularmente alagados. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 116 p.
- COPERTINO, M., COSTA, C.S.B. & SEELIGER, U. 1997. Dinâmica populacional de *Spartina alterniflora* em pântanos salgados do estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande, RS. *Annals of VIII Seminário Regional de Ecologia* (ed. J.E. Santos), pp. 295–312. UFSCar/Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Renováveis, São Carlos, Brazil.
- COSTA, C.S.B. 1998. Marismas irregularmente alagadas. In: U. SEELIGER; C. ODEBRECHT; J.P. CASTELLO (eds.), *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo Sul do Brasil*. Rio Grande, Editora Ecoscientia, pp. 82-87.
- COSTA, C.S.B.. 2011. Restoration of coastal salt marshes in Brazil using native salt marsh plants. In: *Restoration Ecology*. S. Greipsson (Editor). Sudbury (MA. U.S.A.): Jones and Bartlett Publishers, pp. 333-338.
- COSTA, C.S.B.. 2011b. Projeto de recuperação de marismas. Capítulo 5.4. In: *Manejo integrado do estuário da Lagoa dos Patos : uma experiência de gerenciamento costeiro no sul do Brasil*. P.R. A.T. & M.L. Asmus (Editores). Rio Grande (RS): Editora da FURG, pp. 50-60.
- COSTA, C.S.B. & DAVY, A. J. 1992. Coastal saltmarsh communities of Latin America. In: U. SEELIGER (eds.). *Coastal plant communities of Latin America*. Academic Press, Inc. California. pp. 179-198.
- COSTA, C.S.B. & MARANGONI, J.C. 1997. Criação de marismas com espécies nativas: experimento piloto no sul do Brasil. In: CONGRESSO LATINO

- AMERICANO DE CIENCIAS DO MAR, 7, Santos, *Anais*, 1: pp. 200-201.
- COSTA, C.S.B.; SEELIGER, U.; OLIVEIRA, C.P.L. & MAZO, A.M.M. 1997. Distribuição, funções e valores das marismas e pradarias submersas no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). *Atlântica*, 19: pp. 65-83.
- COSTA, C.S.B.; MARANGONI, J.C. & AZEVEDO, A.M.G. 2003. Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *Journal of Ecology*, 91(6): pp. 951-965.
- COSTA, C.S.B.; IRIBARNE, O.O. & FARINA, J.M. 2009. Human impacts and threats to the conservation of South American salt marshes. In: SILLIMAN, B. R.; GROSHOLTZ, T.; BERTNESS, M. D. (Ed.). *Salt Marshes under Global Siege*. Berkeley: University of California Press, 2009.
- COSTA, C.S.B. & MARANGONI, J.C. 2010. As comunidades das marismas *In: O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*, Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Editores). Rio Grande:FURG, pp.125-133.
- COSTA, C.S.B.; MENDONÇA, P.T. & MARANGONI, J.C. 2012. Criação de uma marisma em enseada estuarina no sul do Brasil utilizando sedimento dragado. Anais do VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC Associação Brasileira de Engenharia Ambiental – ASBEA Criciúma (SC) pp. 960-969.
- COULTAS, C.L.; BREITENBECK, G.A.; KRUCZYNSKI, W.L.; SUBRAHMANYAM, C.B. 1978. Vegetative stabilization of dredge spoil in North Florida. *Journal of Soil and Water Conservation*, 33 (4): pp. 183-185.
- CRAFT, C. B.; READER, J. M.; SACCO, J. N. & BROOME, S. W. 1999. Twenty-five years of ecosystem development of constructed *Spartina alterniflora* (Loisel) marshes. *Ecological Applications* 9: pp.1405–1419.
- CRAFT, C. B.; BROOME, S.W. & CAMPBELL, C. L. 2002. Fifteen years of vegetation and soil development following brackish- water marsh creation. *Restoration Ecology* 10: pp. 248–258.
- CRAFT, C.; MEGONIGAL, P.; BROOME, S.; STEVENSON, J.; FREESE, R.; CORNELL, J.; ZHENG, L & SACCO, J. 2003. The pace of ecosystem development of constructed *Spartina alterniflora* marshes. *Ecological Applications*,

- 13(5), 2003, pp. 1417–1432.
- CUNHA, S.R. 1994. Modelo ecológico das marismas de *Spartina alterniflora* Loisel (Poaceae) do estuário da Lagoa dos Patos, RS. Dissertação de Mestrado. Universidade do Rio Grande, 105 p.
- CUNHA, S.R.; ASMUS, M. & COSTA, C.S.B. 2005. Production dynamics of *Spartina alterniflora* salt marshes in the estuary of the Patos Lagoon (RS, Brazil): A simulation model approach. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, **9**(2): pp. 75-85.
- DARNELL, T. & SMITH, E.H. 2002. Recommended Design for More Accurate Duplication of Natural Conditions in Salt Marsh Creation. *Environmental Management* **29**(6): pp. 813–823.
- DAVY, A.J. & COSTA, C.S.B. 1992. Development and organization of salt marsh communities. In: Seeliger, U. (ed.). *Coastal Plant Communities of Latin America*. New York, Academic Press, pp. 157-178.
- EMERY, N.C.; EWANCHUK, P.J. & BERTNESS, M.D. 2001. Competition and salt-marsh plant zonation: stress tolerators may be dominant competitors. *Ecology*, **82**: pp. 2471–2485.
- FIDELMANN, P.I.J. 1995. Produção e desaparecimento da biomassa de *Scirpus maritimus* L. na Ilha da Pólvora (RS). Trabalho de conclusão de curso de graduação em Oceanologia. Rio Grande, Universidade do Rio Grande, 34 p.
- GAONA, C.A.; PEIXOTO, A.R. & COSTA, C.S.B. 1996. Produção primária de uma marisma raramente alagada dominada por *Juncus effusus* L., no extremo sul do Brasil. *Atlântica*, **18**: pp. 43-54.
- INPE. 2015. El Niño e La Niña <http://www.cptec.inpe.br/enos/>.
- KRUCZYNSKI, W.L. 1982. Salt marshes of the northeastern Gulf of Mexico. In: R.R. LEWIS (ed.), *Creation and restoration of coastal plant communities*. Boca Raton, CRC Press, pp. 71-88.
- LEVINE, J.M.; BREWER, J.S.; BERTNESS, M.D. 1998. Nutrients, competition and plant zonation in a New England salt marsh. *Journal of Ecology*, **86**: pp. 285-292.
- MARANGONI, J. C. 2001. Interação Competitiva e habilidade colonizadora das plantas dominantes de uma marisma irregularmente inundada no estuário das Lagoa dos

- Patos (RS, Brasil). Dissertação de Mestrado. Oceanografia Biológica. Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande: 169p.
- MARANGONI, J.C. & COSTA, C.S.B. 2009. Natural and anthropogenic effects on salt marsh over five decades in the Patos Lagoon (Southern Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography* **57**(4): pp. 345-350.
- MARANGONI, J.C. & COSTA, C.S.B. 2010. Caracterização das atividades econômicas tradicionais no entorno das marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, **21**: pp. 129-142, jan./jun. 2010. Editora UFPR.
- MARANGONI, J.C. & COSTA, C.S.B. 2012. Short-and Long-Term Vegetative Propagation of Two *Spartina* Species on a Salt Marsh in Southern Brazil. *Estuaries and Coasts*, **35**, pp.763 - 773.
- MARENGO J.A. 2007. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Segunda Edição. Brasília, Ministerio do Meio Ambiente, 214 p.
- MENDONÇA, P.T.M & COSTA, C.S.B. 2008. Efeitos da disponibilidade de nitrogênio e fósforo no estabelecimento de *Spartina alterniflora* em um plano entremarés irregularmente alagado. *Neotropical Biology and Conservation* **3**(3): pp. 135-148.
- METCALFE, W.S.; ELLISON, A.M.; BERTNESS, M.C. 1986. Survivorship and spatial development of *Spartina alterniflora* Loisel. (Gramineae) seedlings in a New England salt marsh. *Annals of Botany*, **58**: pp. 249-258.
- MITSCH, W. J. & GOSSELINK, J.G. 2007. Wetlands. Hoboken. pp.177-183.
- MÖLLER, O & FERNANDES, E. 2010. Hidrologia e hidrodinâmica. In: *O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*, Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Editores).Rio Grande:FURG, pp.17-27.
- MOSSMAN, H.; BROWN, M.; DAVY, A. & GRANT, A. 2012. Constraints on salt marsh development following managed coastal realignment: dispersal limitation or environmental tolerance? *Restoration Ecology*, School of Plant Biology, University of Western Australia, Crawley, WA 6009 Australia, 32p.

- ODEBRECHT, C.; ABREU, P. C.; BEMVENUTI, C.E.; COPERTINO, M.; MUELBERT, J.H.; VIEIRA, J.P. & SEELIGER, U. 2010. The Patos Lagoon Estuary: Biotic responses to natural and anthropogenic impacts in the last decades (1979 – 2008). In: Kennish MJ, Paerl HW (eds.) Coastal Lagoons: critical habitats of environmental change, CRC Marine Science Series, 416 p.
- ODEBRECHT, C.; ABREU, P.C.; BEMVENUTI, C.E.; COLLING, L.A.; COPERTINO, M.; COSTA, C.S.B.; GARCIA, A.M.; MARANGONI, J.C.; MÖLLER, O.; MUELBERT, J.H.; VIEIRA, J.P & SEELIGER, U. 2013. O efeito de perturbações naturais e antrópicas na ecologia do estuário da Lagoa dos Patos. *In: PELD–CNPq Dez Anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Brasil: Achados, Lições e Perspectivas.* pp. 226-250.
- PALUDAN, C. & MORRIS, J.T. 1999. Distribution and speciation of phosphorus along a salinity gradient in intertidal marsh sediment. *Biogeochemistry*, **45**: pp.197–221.
- PEIXOTO, A.R. 1997. Análise simultânea da produção primária das comunidades de macrófitas emergentes dominantes das marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS)- Brasil. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 112 p.
- PEIXOTO, A. R. & COSTA, C.S.B. 1998. Mobilidade do detrito e produção primária líquida aérea anual da biomassa de *Scirpus maritimus* L. em uma marisma no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros. Águas de Lindóia. pp. 80-89.
- PEIXOTO, A.R. & COSTA, C.S.B. 2004. Produção primária líquida aérea de *Spartina densiflora* Brong. (Poacea) no estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Ser. Bot.*, **59**(1): pp. 27-34.
- PENNINGS, S.C. & BERTNESS, M.D. 2001. Salt marsh communities. *Marine Community Ecology* (eds M.D. Bertness, S.D. Gaines & M.E. Hay), pp. 289–316. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- PENNINGS, S.C.; STANTON, L. E. & BREWER, J. S. 2002. Nutrient Effects on the Composition of Salt Marsh Plant Communities Along the Southern Atlantic and Gulf Coasts of the United States. *Estuaries* **25** (6A): pp. 1164–1173.

- RATCHFORD, S.G. 1995. Changes in the density and size of newly settled clams in Willapa Bay, Washington, due to the invasion of smooth cordgrass, *Spartina alterniflora* Loisel. (M.S. Thesis, University of Washington).
- SAYCE, K. 1988. Introduced cordgrass, *Spartina alterniflora* Loisel, in salt marshes and tidelands of Willapa Bay, Washington. Willapa National Wildlife Refuge. USFWS Contract #FWSI-87058 (TS).
- SEELIGER, U., COSTA, C.S.B. & ABREU, P.C. 1997. Energy flow and habitats in the Patos Lagoon estuary. *Subtropical Convergence Environments: the Coast and Sea in the Warm- Temperate Southwestern Atlantic* (eds U. Seeliger, C. Odebrecht & J.P. Castello), pp. 65–70. Springer-Verlag, Berlin.
- SEELIGER, U. & COSTA, C.S.B. 1998. Impactos naturais e humanos. *In: U. SEELIGER; C. ODEBRECHT; J.P. CASTELLO* (eds.), *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo Sul do Brasil*. Rio Grande, Editora Ecocientia, pp. 217-226.
- SEELIGER, U. & COSTA, C. S. B. 2002. The Patos-Mirin basins, lagoons and estuary, South Brazil: Natural and human forcing factors. *In: South American basins: LOICZ global change assessment and synthesis of river catchment—Coastal sea interaction and human dimensions*, eds. LD Lacerda, HH Kremer, B. Kjerfve, W. Salomons, JI Marshall Crossland and CJ Crossland, pp. 105-112.
- SENECA, E.; BROOME, S. W. & WOODHOUSE, W. W. J. 1985. The influence of durations of inundations on development of a man- initiated *Spartina alterniflora* Loisel. marsh in North Carolina. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1985, Vol. 94, pp. 259-268
- SIEGEL, S. 1975. *Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil Ltda, 350 p.
- SILVA, C.P., PEREIRA, C.M.P. & DORNELES, L.P.P. 1993. Espécies de gramíneas e crescimento de *Spartina densiflora* Brong. em uma marisma da Laguna dos Patos, RS, Brasil. *Caderno de Pesquisa, Série Botânica (Santa Cruz Do Sul)*, **5**, 95– 108.
- SMART, R.M. & BARKO, J.W. 1980. Nitrogen nutrition and salinity tolerance of *Distichlis spicata* and *Spartina alterniflora*. *Ecology*, **61**(3): pp. 630-638.

- SOUZA-VIERA, S.R. & HARTMANN, C. 2008. Modificação marginal das ilhas estuarinas usando ferramentas de aerofotografia, sedimentologia e batimetria. *Revista Brasileira de Cartografia* 60/04 (ISSN 1808-0936).
- SUNDARESHWAR, P.V.; MORRIS, J.T.; KOEPFLER, E.K. & FORNWALT, B. 2003. Phosphorus Limitation of Coastal Ecosystem Processes. *Science* **299**, 563.
- TYLER, A.C. & ZIEMAN, J.C. 1999. Patterns of development in the creekbank region of a barrier island *Spartina alterniflora* marsh. *Marine Ecology Progress Series*, **180**: pp. 161-177.
- WHISENANT, S.G. 2005. First Steps in erosion control. *In: Forest Restoration in Landscapes*, Springer, Part D, pp. 350-356.
- ZAR, J.H. 1984. *Biostatistical analysis*. Nova Jersey, Prentice-Hall Inc., 718 p.
- ZEDLER, J. B. & CALLAWAY, J.C. 1999. Tracking wetland restoration: Do mitigation sites follow desired trajectories? *Restoration Ecology* **7**: pp. 69-73.
- ZEDLER, J. B. & CALLAWAY, J.C. 2000. Evaluating the progress of engineered tidal wetlands. *Ecological Engineering* **15**: pp. 211-225.

Tabela 1. Médias e erros-padrões (EP) da altura topográfica dos blocos de plantio de *Spartina alterniflora* em relação ao nível médio da lagoa (NML). Dados obtidos 1 mês e 26 meses após o plantio das mudas (maio 2012). Dados de frequências de alagamento estimadas nos anos de 2012 e 2014 são apresentadas. Resultados da Análise de Variância são apresentados e os dados topográficos foram transformados para a análise utilizando $\log_{10}(x)$. Graus de liberdades dos blocos (B), tempo (T), interação bloco x tempo (BxT) e resíduo foram, respectivamente, 1, 2, 2 e 50. Diferentes letras minúsculas indicam médias significativamente ($p < 0,05$) diferentes conforme o teste Tukey.

	Topografia (cm NML)			Alagamento (%)	Topografia (cm NML)			Alagamento (%)
	Mês 1	EP		2012	Mês 26	EP		2014
Bloco 1	-16	1,5	b	32,9	-13	0,7	b	69,5
Bloco 2	-23	2,6	a	51,5	-8	1,3	b	61,9
B	5,41	*						
T	30,22	***						
B x T	16,59	***						

*= $p < 0,05$; ***= $p < 0,001$

Tabela 2. Resultados das Análises de Variância dos teores percentuais das frações granulométricas areia, silte e argila, além do teor de matéria orgânica (M.O.) no sedimento superficial entre blocos de plantio de *Spartina alterniflora* e anos de monitoramento (2012 a 2015). Valores F do teste de Fisher e significâncias são apresentados. Os graus de liberdade dos fatores Bloco, Ano e Bloco X Ano foram, respectivamente, 1, 3, 3 e 28.

	Areia #		Silte #		Argila \$		M.O.\$	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Bloco	0,01	ns	0,28	ns	0,00	ns	0,01	ns
Ano	3,28	*	1,33	ns	12,85	***	15,58	***
B x A	1,81	ns	2,71	ns	0,41	ns	0,33	ns

= ANOVA com $\log_{10}(x)$; \$ = ANOVA com $\log_{10}(x)+1$; * = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$.

Tabela 3. Resultados das Análises de Variância das características da água intersticial (Redox, pH, salinidade, condutividade, nitrogênio amoniacal, fósforo e nitrito) entre blocos de plantio de *Spartina alterniflora* e datas de amostragens sazonais (da primavera de 2012 ao verão de 2015). Valores F do teste de Fisher e significâncias são apresentados. Os graus de liberdade dos fatores Bloco, Amostragem, interação BxA e resíduo foram iguais a 1, 9, 9 e 140.

	Redox #		pH #		Salinidade		Condutividade		Amônio \$		Fósforo \$		Nitrito #	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
B	2,2	ns	1,1	ns	28,5	***	13,3	***	3,3	ns	7,9	***	0,0	ns
A	4,6	***	7,9	***	1010,3	***	394,8	***	15,7	***	10,6	***	15,9	***
BxA	2,3	*	2,4	*	4,0	***	9,7	***	0,6	ns	1,7	ns	1,8	ns

= ANOVA com $\log_{10}(x)$; \$ = ANOVA com $\log_{10}(x)+1$; * = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$.

Tabela 4. Resultado das Análises de Variâncias de medidas repetidas entre blocos de plantio e datas de monitoramento (3 e 9 meses) no período de estabelecimento de *Spartina alterniflora* para os parâmetros altura das hastes (cm), número de perfilhos, expansão horizontal do perfilho (cm) e taxas de perfilhamento (hastes por mês) e de expansão horizontal (cm por mês). Valores F do teste de Fisher e significâncias são apresentados. Graus de liberdade para Bloco, Tempo e Bloco X Tempo, respectivamente de 1, 1 e 1. Resíduos iguais a 161 (altura, número de perfilhos), 159 (expansão), 162 (taxas de perfilhamento e expansão).

	Altura #		Número de perfilhos #		Expansão \$		Taxa de perfilhamento #		Taxa de expansão \$	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Bloco	3,8	*	5,9	***	2,8	ns	17,4	***	2,7	ns
Tempo	1452,7	***	941,1	***	3334,6	***	361,0	***	63,5	***
B x T	13,0	***	46,6	***	2,0	ns	56,5	***	0,9	ns

= ANOVA com $\log_{10}(x)$; \$ = ANOVA com $\log_{10}(x)+1$; * = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$.

Tabela 5. Resultados das Análises de Variância da biomassa aérea (BA), biomassa subterrânea (BS), proporção de biomassa subterrânea (PBS) e densidade das hastes (D) de plantas de *Spartina alterniflora* entre blocos de plantio e datas de monitoramento (2012, 2013 e 2014). Valores F do teste de Fisher e significâncias são apresentados. Os graus de liberdade dos fatores Bloco, Ano e Bloco X Ano foram, respectivamente, 1, 2 e 2 para BA, BS e PBS, e de 1, 3 e 3 para D. Os parâmetros também tiveram graus de liberdade do resíduo diferentes, que foram de 18 para BA, BS e PBS, e de 488 para D.

	Biomassa Aérea #		Biomassa Subterrânea #		P. Biomassa Subterrânea #		Densidade de hastes #	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Bloco	1,3	ns	1,6	ns	1,5	ns	1,5	ns
Ano	60,2	***	19,5	***	18,9	***	483,4	***
B x A	0,4	ns	2,2	ns	2,2	ns	10,7	***

= ANOVA com $\log_{10}(x)$; *** = $p < 0,001$.

Legenda das Figuras

Figura 1. Fotos dos blocos 1 e 2 aos tres meses e no final do experimento. A= bloco 1 aos 3 meses, B= bloco 1 em 2015, C= bloco 2 aos tres meses, D= bloco 2 em 2015 e E= vista parcial dos blocos 1 e 2.

Figura 2. Temperatura do ar em °C (A) , pluviosidade em mm (B), altura (cm NML) e salinidade da água (C) registradas no período de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2015.

Figura 3. Porcentagem dos sedimentos areia, argila e silte nos blocos 1 e 2 nos anos de 2012 a 2015. Médias de matéria orgânica estão indicadas no topo de cada bloco.

Figura 4. Potenciais Redox em mV (A), pH (B), salinidades (C) e condutividades dS/m (D) das águas intersticiais coletadas nos blocos 1 e 2, no período entre a primavera de 2012 e verão de 2015.

Figura 5. Teores de Amônio (A), Fosfato (B) e Nitrito (C) em mg/L observados nas águas intersticiais coletadas nos blocos 1 e 2, no período entre a primavera de 2012 e verão de 2015.

Figura 6. Altura das hastes em cm (A), número de perfilhos (B), expansão dos perfilhos em cm (C), taxa de perfilhamento (perfilho/mês) (D) e taxa de expansão em cm/mês das mudas de *Spartina alterniflora* em ambos os blocos 1 e 2 e aos 3 e 9 meses após o plantio.

Figura 7. Produção de biomassa aérea e subterrânea em g/m² (A), densidade de hastes (indivíduos/m²) (B) e porcentagem de floração (C) nos blocos 1 e 2 nos anos de 2012 a 2015 (densidade de hastes) e 2013 a 2015 (biomassa aérea, subterrânea e porcentagem de floração).

Figura 1



Da esquerda para direita acima: A, B, C, D e E.

Figura 2

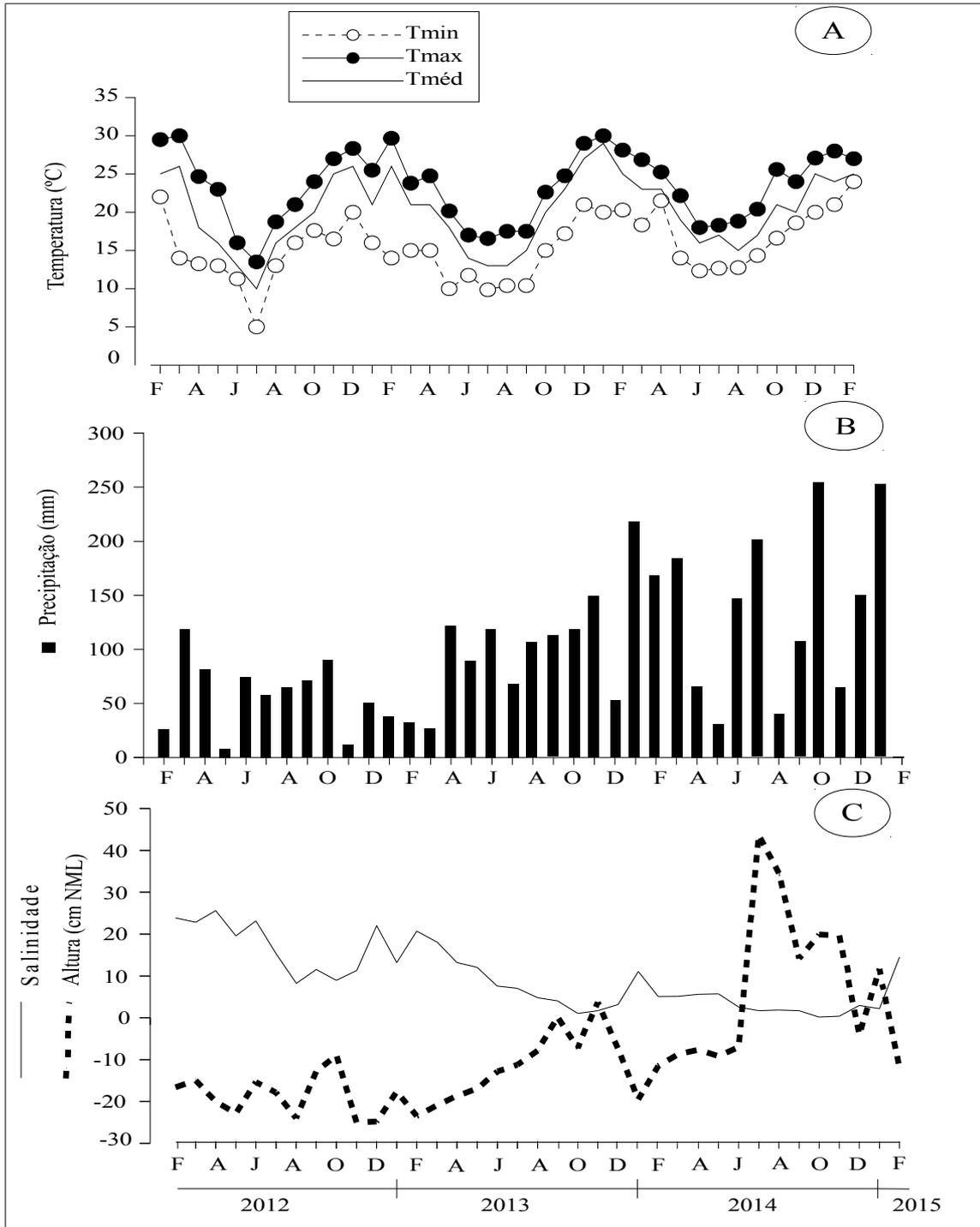


Figura 3

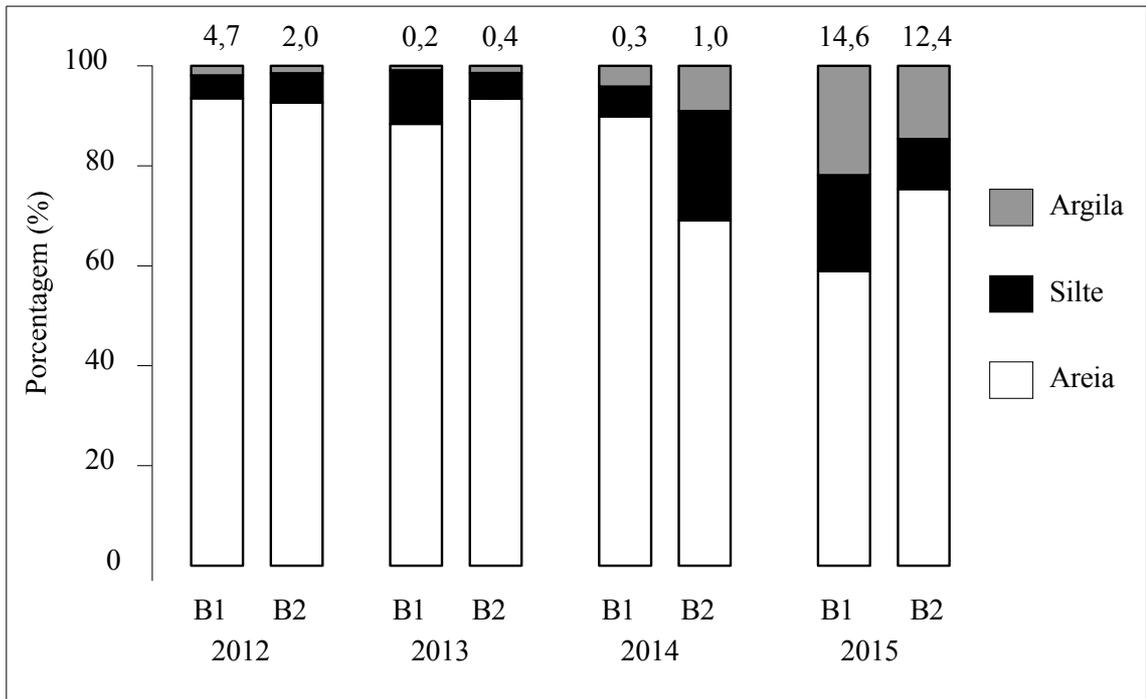


Figura 4

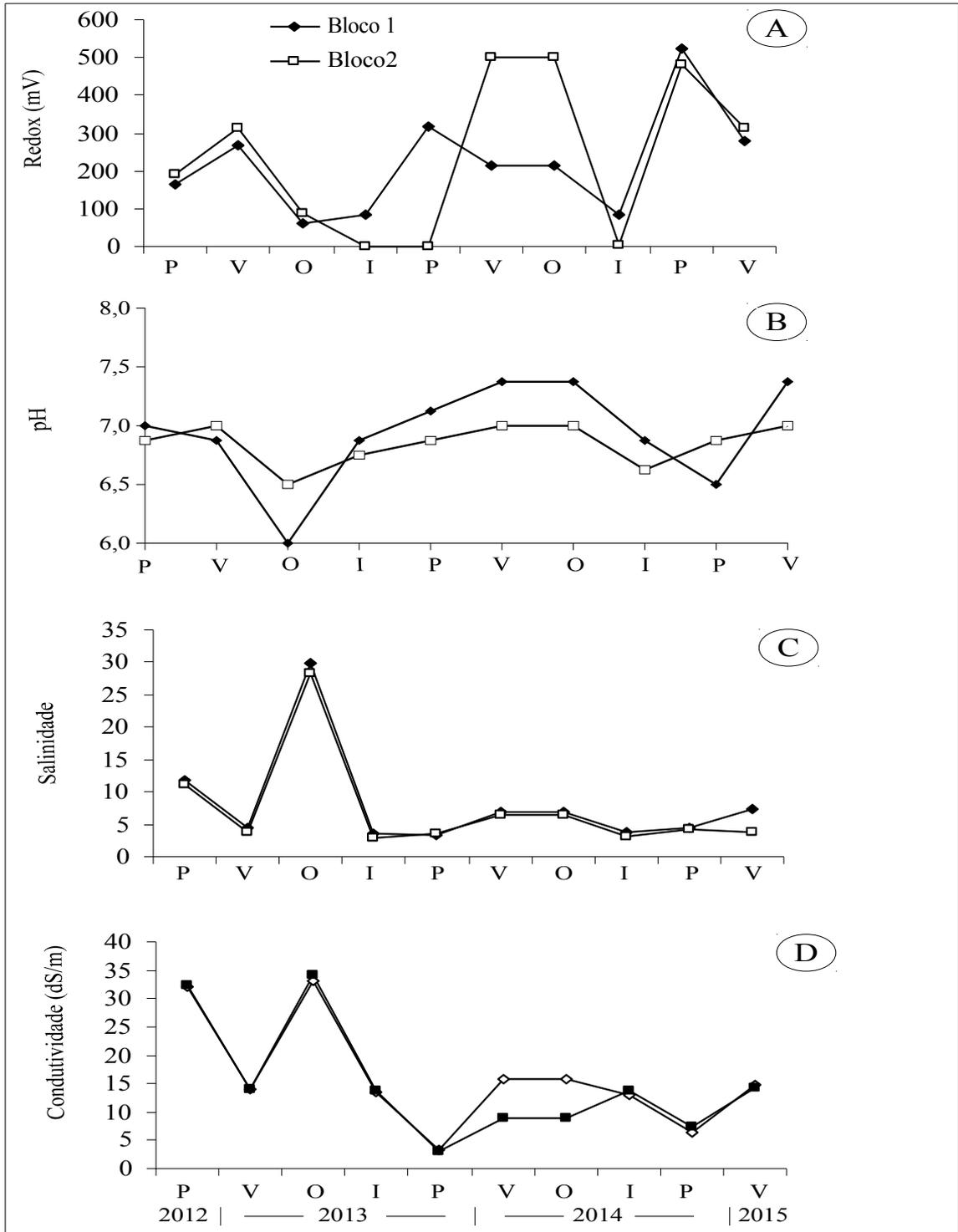


Figura 5

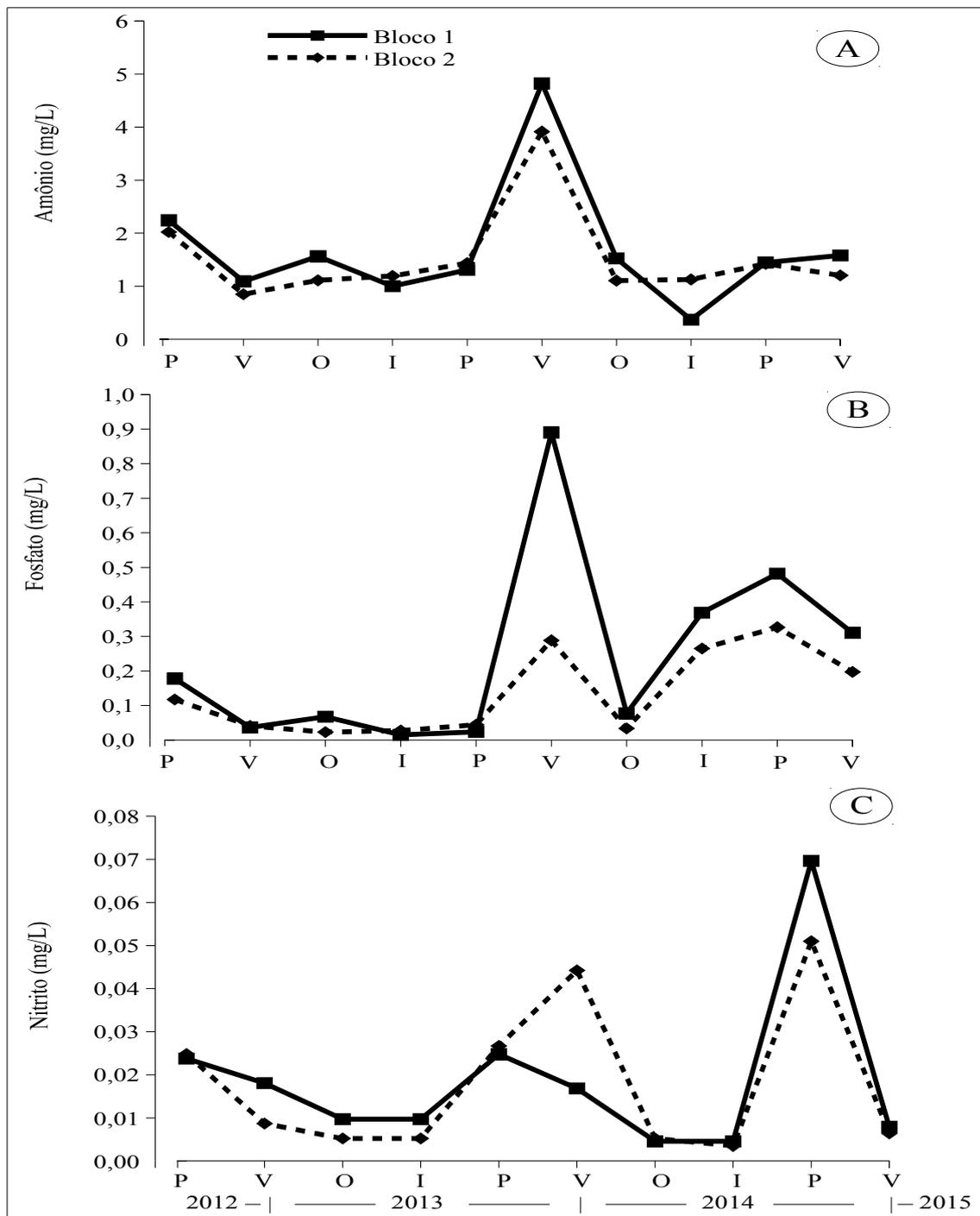


Figura 6

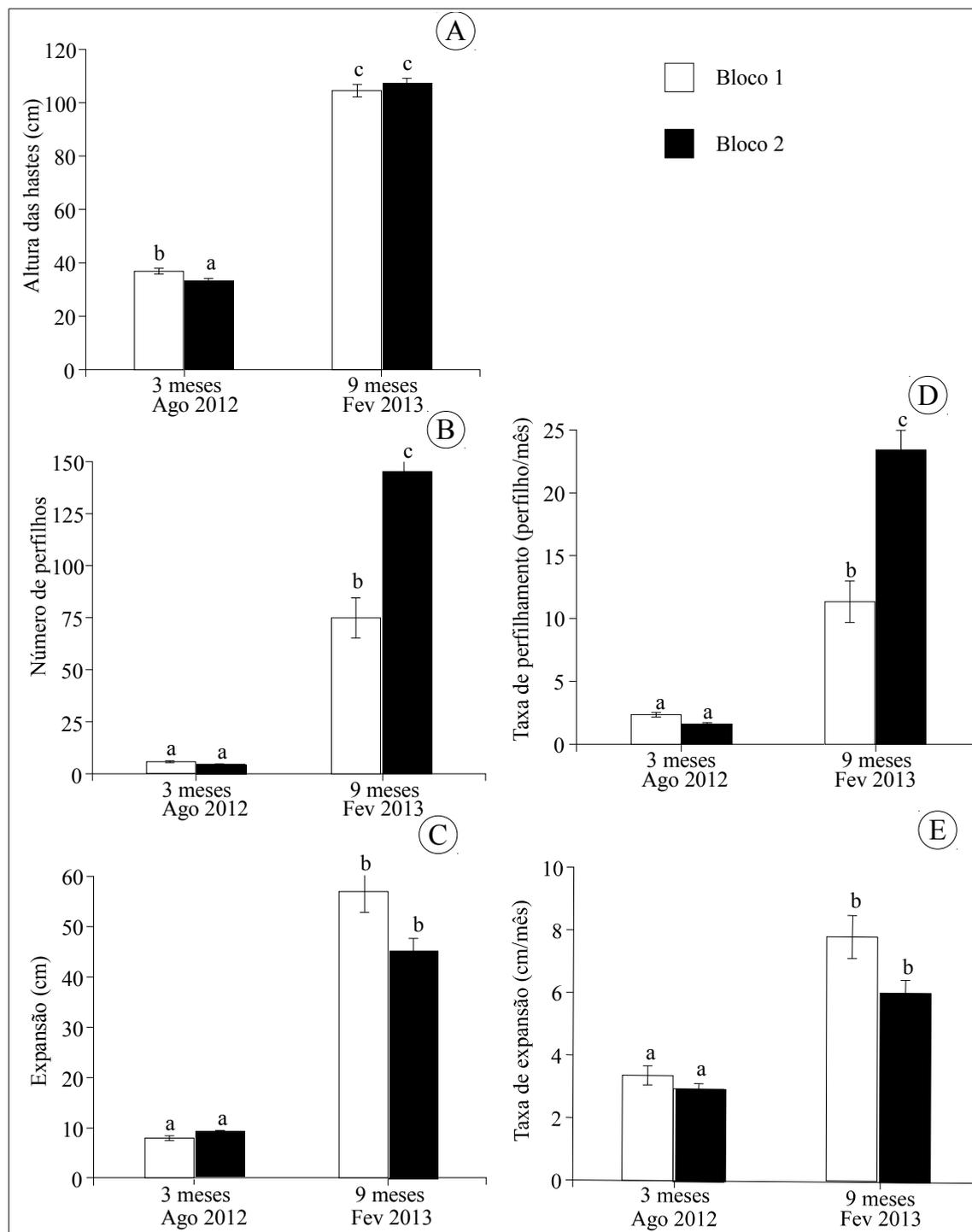
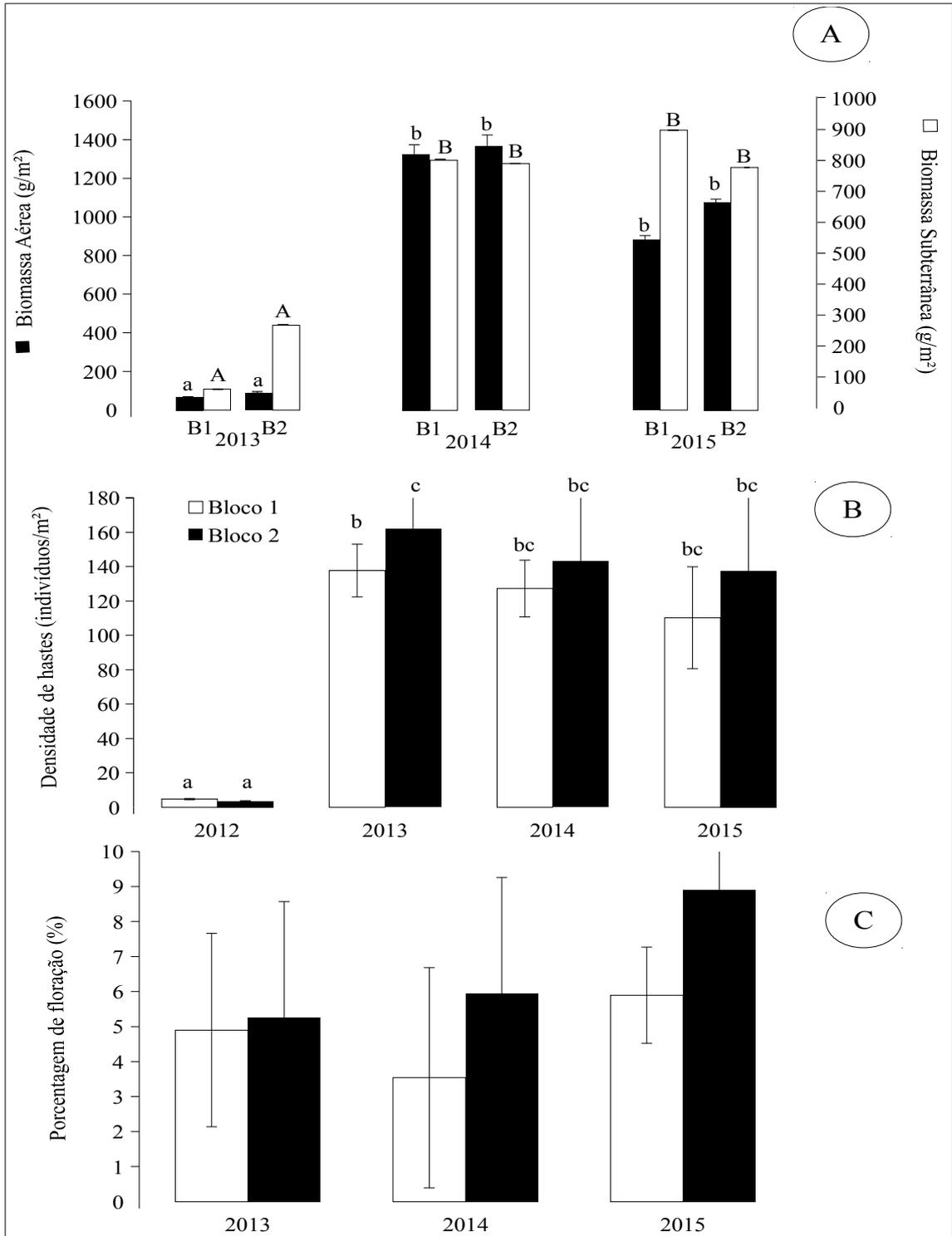


Figura 7



DISCUSSÃO GERAL E CONCLUSÃO

A estruturação das marismas criadas através do plantio de gramas bioengenheiras no estuário micromareal da Lagoa dos Patos, demonstrou uma grande similaridade com marismas naturais de idade equivalentes e submetidas às mesmas condições ambientais. A disponibilidade de nitrogênio e fósforo é importante para o desenvolvimento das plantas de marismas e tem impacto direto sobre as propriedades autogênicas destes ambientes. No experimento realizado no início do estudo (Capítulo 1), o uso de N e P estimulou a produção de mudas e o maior perfilhamento, ficando evidenciado que sob alta disponibilidade destes nutrientes, razões N:P baixas (como 2:1) produzem mudas mais vigorosas, com mais folhas vivas e reduz a mortalidade foliar. Conseqüentemente, estas condições são ideais para o estabelecimento natural e para o estabelecimento de mudas no campo. Esta razão (2N:1P) ou valores mais baixos foram observados nas marismas amostradas (Capítulo 2 e 3), tanto em áreas eutrofizadas como não eutrofizadas no estuário da Lagoa dos Patos. Entretanto, a alta disponibilidade foi restrita a áreas eutrofizadas, onde um rápido e grande desenvolvimento estrutural das marismas foi observado.

A densidade ideal de mudas para o cultivo em bandejas também mostrou-se importante. Densidades baixas (*i.e.*, 133 mudas m⁻²) além de favorecer a maior produção de mudas por perfilhamento, geram plantas mais baixas. Conseqüentemente, as bandejas tornam-se mais leves para o manuseio e as mudas atingem alturas adequadas ao plantio (até 60 cm), que podem aumentar as suas sobrevivências em margens muitas vezes sujeitas ao batimento de ondas. As informações obtidas sobre condições de adensamento e nutrição ideais para produção de mudas preenchem uma lacuna do conhecimento fitotécnico para o desenvolvimento de projetos de criação/restauração de uma marisma na costa brasileira. Os dados obtidos neste Capítulo 1 suportaram as hipóteses testadas.

Da avaliação de marismas criadas e naturais (jovens e maduras), constatou-se também que a localização da marisma influi bastante em seu desenvolvimento (Capítulo 2). Em áreas eutrofizadas há maior estímulo na produção de biomassa aérea e subterrânea das marismas criadas e naturais. Estas biomassas das plantas permitem uma

maior deposição de sedimentos finos e maior incorporação de matéria orgânica particulada no sedimento. Independente da idade ou origem, maiores formações de biomassa serão encontradas em marismas de áreas eutrofizadas, onde o desenvolvimento autogênico (soerguimento orgânico, maior estocagem e reciclagem de nutrientes, etc.) passa a ser mais vigoroso.

Outro aspecto ressaltado pelos dados levantados, é como o soerguimento da marisma e a oxigenação da rizosfera por *S. alterniflora* modificam a disponibilidade do fósforo. Este elemento de coadjuvante em áreas não eutrofizadas pode passar a protagonista em áreas eutrofizadas. Mesmo existindo grandes quantidades de ambos N e P nas águas e sedimentos adjacentes a marisma, o fósforo tornar-se rapidamente indisponível em condições oxidantes criadas pelas gramas de marismas. O ambiente passa para uma nova etapa de desenvolvimento, observada nas marismas maduras, onde mais nutrientes são estocados em uma maior proporção de biomassa alocada para formação de raízes e rizomas. Nesta condição, eficientes mecanismos de reciclagem devem estar atuando, cada vez mais alimentados pela biomassa autoctona que passa a ser menos exportada na marisma com superfície mais alta, longe do alagamento. Uma consequência prática deste processo é que, quanto mais baixo na zona entremarés for plantada a marisma, mais lenta será sua passagem para um estágio maduro. Em marismas baixas o fósforo se mantém reduzido e disponível, incentivando o crescimento rápido das plantas por perfilhamento, mas pouca estocagem de recursos no sistema. Todos os dados coletados neste Capítulo 2 suportaram as hipóteses formuladas.

Mesmo em um estuário micromareal fortemente influenciado pela variabilidade interanual de sua hidrologia, *S. alterniflora* conseguiu se desenvolver rapidamente e modificar as condições locais formando uma nova área de marisma (Capítulo 3). A biomassa aérea e subterrânea acumulou-se rapidamente na marisma, atingindo em 2-3 anos valores equivalentes à de marismas já estabelecidas a vários anos. O rápido desenvolvimento estrutural da marisma criada no presente estudo parece ser explicada pelo alto grau de eutrofização do Saco da Mangueira. *S. alterniflora* responde positivamente quando exposta a ambientes eutrofizados, especialmente com nitrogênio sem limitação de fósforo (Capítulo 1 e 2). O papel autogênico protagonista no desenvolvimento estrutural das marismas micromareais do estuário da Lagoa dos Patos,

submetidas a intensos forçantes alógenos, parece ser sustentado pela disponibilidade de grandes quantidades de nutrientes. As amostragens realizadas e os resultados obtidos suportaram as hipóteses formuladas deste Capítulo 3.