

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

CULTIVO DE *SALICORNIA GAUDICHAUDIANA* MOQ.  
IRRIGADA COM EFLUENTE DE CAMARÃO  
NO CLIMA TEMPERADO NA COSTA SUL DO BRASIL.

GABRIELA GREIS

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

Orientador: César Serra Bonifácio Costa

RIO GRANDE

Junho de 2009

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	II
LISTA DE TABELAS .....	IV
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUÇÃO .....	3
1.1. Objetivos .....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	12
2.1. Produção de mudas .....	12
2.2. Plantio e desenho experimental .....	13
2.3. Colheita final e parâmetros de crescimento .....	14
2.4. Dados meteorológicos, de sedimento e monitoramento da composição do efluente de irrigação .....	15
2.5. Análise dos Dados .....	16
3. RESULTADOS .....	23
3.1. Dados Meteorológicos e do Sedimento do Canteiro .....	23
3.2. Tamanho inicial das mudas .....	27
3.3. Mortalidade de mudas .....	27
3.4. Biometria e biomassa da <i>Salicornia</i> após 100 dias de cultivo .....	28
3.5. Teores de N e P nos tecidos de <i>Salicornia</i> .....	35
3.6. Eficiência depuradora do efluente pelo canteiro .....	35
4. DISCUSSÃO .....	42
4.1. Mortalidade e crescimento de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> .....	42
4.2. Teores de N e P no tecido de <i>Salicornia</i> .....	48
4.3. Depuração do efluente pelo canteiro de <i>Salicornia</i> .....	52
5. REFERÊNCIAS .....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Muda de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> em bandeja semeadeira na estufa do Instituto de Oceanografia (FURG).....	19
Figura 2: Canteiro de cultivo de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> construído na Estação Marinha de Aquicultura (EMAFURG), Balneário Cassino, Rio Grande (RS).....	19
Figura 3: Mudanças de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> logo após plantio no canteiro.	20
Figura 4: Canteiro de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> após 100 dias de cultivo irrigado com efluente da carcinicultura. A direita na foto pode ser observado o nível alto do canteiro onde ocorreu uma maior mortalidade e menor desenvolvimento das plantas sobreviventes. ....	20
Figura 5: Colheita de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> através de corte do caule principal logo acima do sedimento. ....	21
Figura 6: Armazenamento individual da parte aérea de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> em saco plástico após a colheita. ....	21
Figura 7: Taxa de precipitação e temperaturas atmosféricas máxima e mínima diárias ao longo do cultivo de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> em Rio Grande (RS) (A). São também apresentados o teor de umidade (B) e a salinidade (C) no sedimento superficial do canteiro nos níveis alto (A), médio (M) e baixo (B), em cinco datas do período de cultivo, antes da irrigação diária das 17 horas. ....	25
Figura 8: Teor de umidade e salinidade do sedimento superficial do canteiro amostrados antes das quatro irrigações diárias nas datas 03 de fevereiro e 10 de abril de 2008. A salinidade foi zero nos três níveis do canteiro no dia 03 de fevereiro de 2008. ....	26
Figura 9: Mortalidade porcentual das mudas de grandes (G) e pequenas (P) nos níveis alto, médio e baixo do canteiro de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> após 100 dias de cultivo. ....	30
Figura 10: Média $\pm$ erro padrão da altura final (A) e número final de ramificações (B) das plantas de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> originadas de mudas grandes (G) e pequenas (P) nos níveis alto, médio e baixo do canteiro.	

Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey. ....	31
Figura 11: Biomassa seca aérea e das raízes (g) das plantas de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> cultivadas nos níveis alto, médio e baixo do canteiro (A). Os percentuais de alocação em biomassa subterrânea das plantas nos níveis alto, médio e baixo (B) também são apresentados. Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey. ....	32
Figura 12: Percentual de investimento em estruturas reprodutivas (produção de segmentos reprodutivos na primeira ramificação do terço superior do caule) das plantas de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> originadas de mudas grandes (G) e pequenas (P) nos níveis alto, médio e baixo do canteiro. Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey. ....	33
Figura 13: Regressões lineares entre biomassas seca e úmida de plantas de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> cultivadas nos níveis alto (A), médio (B) e baixo (C) do canteiro. ....	34
Figura 14: Concentrações médias de nitrogênio amoniacal (A), nitrito (B), nitrato (C), nitrogênio total (D) e fósforo (E) na entrada e na saída do canteiro ao longo do experimento. Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey. Os dados de fósforo do dia 28 de março foram excluídos das análises estatísticas, devido a contaminação das amostras durante a filtragem-conservação. ....	40
Figura 15: Concentrações médias de nitrogênio amoniacal (A), nitrito (B), nitrato (C), nitrogênio total (D) e fósforo (E) na entrada e na saída do canteiro, em duas datas com quatro horários de amostragem. Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey. ....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação das variáveis medidas e respectivas transformações matemáticas, quando necessárias, utilizadas para atender os requisitos de normalidade e homocedasticidade para análise estatística paramétrica. ....	22
Tabela 2: Análise de Variância para altura inicial e número inicial de ramificações das mudas de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> classificadas como de tamanho grande e pequeno, plantadas em três níveis de elevação no canteiro. ....	30
Tabela 3: Análise de Variância para altura final e número final de ramificações das plantas de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> originadas de mudas de tamanho grande e pequeno, plantadas em três níveis de elevação no canteiro. ....	31
Tabela 4: Análise de Variância para biomassa aérea e biomassa subterrânea das plantas de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> originadas de mudas de tamanho grande e pequeno, plantadas em três níveis de elevação no canteiro. ....	33
Tabela 5: Análise de Variância para porcentual de alocação em biomassa subterrânea e para porcentual de investimento em estruturas reprodutivas das plantas de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> originadas de mudas de tamanho grande e pequeno, plantadas em três níveis de elevação no canteiro.....	33
Tabela 6: Teores médios de nitrogênio e fósforo no tecido de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> irrigadas com efluente de um viveiro de camarão após 100 dias de cultivo. Diferentes letras minúsculas em cada coluna indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey. ....	38
Tabela 7: Análise de Variância dos teores médios de nitrogênio e fósforo nos tecidos (aéreo e subterrâneo) de plantas de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> cultivadas em diferentes níveis do canteiro. ....	38
Tabela 8: Concentrações médias de nutrientes do efluente de cultivo de camarão, utilizado para irrigar o canteiro de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> . ....	38
Tabela 9: Análise de Variância para diferentes nutrientes presentes nas amostras de efluente utilizado para irrigar o canteiro de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> . Amostras foram coletadas no mesmo horário (17 horas).	

Datas de amostragem e o efeito da passagem pelo canteiro (valores na entrada e saída) foram comparados. ....	39
Tabela 10: Análise de Variância para diferentes nutrientes presentes nas amostras de efluente utilizado para irrigar o canteiro de <i>Salicornia gaudichaudiana</i> . Amostras foram coletadas em quatro horários diários. Datas de amostragem e o efeito da passagem pelo canteiro (valores na entrada e saída) foram comparados. ....	39
Tabela 11: Diferenças percentuais nas concentrações de nutrientes entre a entrada e a saída do cultivo (valores máximos). A letra ao lado do dado percentual indica remoção (R) ou aumento (A).....	54

## RESUMO

Este estudo visou testar a viabilidade de cultivo da halófito costeira *Salicornia gaudichaudiana* irrigada com efluente salino da produção de camarão *Litopennaeus vannamei*. Mudanças foram produzidas de sementes obtidas na marisma da Ilha das Pombas (Rio Grande, RS) e mantidas em casa de vegetação não climatizada. Grupos de mudas com quatro e oito semanas de idade foram plantadas em um canteiro de cultivo de 9 x 4 m ao ar livre, com sedimento arenoso e irrigado com 450 L de efluente 4 vezes por dia. Este canteiro foi dividido em três parcelas, denominadas alta, média e baixa, sujeitas a diferentes padrões de drenagem e retenção de umidade, devido ao grau de inclinação entre a entrada do efluente, na parte superior, e o valo de captação-saída. Durante o experimento, foram monitoradas a umidade e salinidade do sedimento, bem como as concentrações de amônio, nitrito, nitrato, nitrogênio total e fosfato em amostras de efluentes coletadas na entrada e na saída do canteiro. As plantas foram coletadas após 100 dias de cultivo e secas em estufa a 60°C para determinar o peso seco. A mortalidade das plantas no canteiro foi de 25%. As plantas apresentaram maior biomassa quando cresceram nos níveis médio (caule = 52,2 ± 3,8 g; raiz = 10,1 ± 0,7 g; média ± erro padrão) e baixo (caule = 50,9 ± 3,1 g; raiz = 13,9 ± 0,6 g) do canteiro do que no nível alto (caule = 32,4 ± 4,0 g; raiz = 8,5 ± 0,8 g). A idade (tamanho) inicial das mudas não teve nenhum efeito marcante no tamanho final das plantas. A produção total foi estimada em 23,4 ± 4,0 ton ha<sup>-1</sup> (biomassa fresca) ou 3,6 ± 0,2 ton ha<sup>-1</sup> (biomassa seca). Em média, o sistema de filtração planta-solo formado pelo canteiro removeu 56%, 41%, 23%, 55% e 19%, respectivamente, do nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, nitrogênio total e fosfato. Os resultados indicam que a halófito *Salicornia gaudichaudiana* apresenta rápido crescimento e boa produção de biomassa, quando irrigada com efluente salino de carcinicultura durante o verão no sul do Brasil.

Palavras-chave: *Salicornia gaudichaudiana*, *Sarcocornia ambigua*, halófito, cultivo, camarão, efluente.

## ABSTRACT

This study conducted a feasibility test of the halophytic shrub *Salicornia gaudichaudiana* cultivation irrigated with saline effluent from a shrimp farm of *Litopennaeus vannamei*. Seedlings were obtained from seeds collected in Pólvora Island salt marsh (Rio Grande, RS, Brazil) and grown in an unheated greenhouse. Groups of 4 and 8 weeks-old seedlings were transplanted to a 9 x 4 m outdoors garden with sandy sediment that was irrigated with 450 L four times per day. The outdoors garden was divided in high, mid and low levels, and each level was submitted to different drainage pattern and soil humidity retention due to surface inclination between the top entrance of effluent and the bottom exit sink. During the experiment, salinity and moisture of surface sediment was monitored. The ammonium-nitrogen, nitrate-nitrogen, nitrite-nitrogen, total nitrogen and phosphate-phosphorus were quantified from water samples of inflow and outflow effluent. Plants were harvested after 100 days of cultivation and dried at 60°C to determine dry matter. Total nitrogen and total phosphorus was measured in root and shoot tissues. The total mortality of the cultivation was 25%. Plants grown in mid (shoot =  $52.2 \pm 3.8$  g; root =  $10.1 \pm 0.7$  g; mean  $\pm$  standard-error) and low levels (shoot =  $50.9 \pm 3.1$  g; root =  $13.9 \pm 0.6$  g) reached biomass significantly higher than plants grown in the high level (shoot =  $32.4 \pm 4.0$  g; root =  $8.5 \pm 0.8$  g). The initial age (size) of the seedlings had no major effect on final plant size. The total production was estimated in  $23.4 \pm 4.0$  ton ha<sup>-1</sup> (fresh weight) or  $3.6 \pm 0.02$  ton ha<sup>-1</sup> (dry weight). Plant–soil filter composed by the outdoors garden removed 56%, 41%, 23%, 55% and 19% of ammonium-nitrogen, nitrite-nitrogen, nitrate-nitrogen, total nitrogen and phosphate-phosphorus, respectively. The results indicated that the halophyte *Salicornia gaudichaudiana* has rapid growth and biomass production under shrimp farm effluent irrigation during the summer in the southern Brazil.

Keywords: *Salicornia gaudichaudiana*, *Sarcocornia ambigua*, halophyte, cultivation, shrimp, effluent.

## 1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, o limite sustentável da pesca tem sido atingido (Troell *et al.* 2003), mas a demanda por alimentos de origem marinha tem apresentado um crescimento constante em face ao aumento da população humana (Zhao *et al.* 2006). O cultivo de organismos aquáticos (aquicultura) surgiu como uma alternativa à pesca e atualmente contribui significativamente para a alimentação mundial, provendo cerca de 30% da produção de pescados (Boyd 2003).

A região costeira brasileira é reconhecida por apresentar condições ideais para o desenvolvimento da carcinicultura de água salgada (cultivo de crustáceos), devido à sua larga extensão e presença de numerosos estuários (Peixoto *et al.* 2005). O cultivo de camarões marinhos no Brasil é uma das atividades da aquicultura que mais se desenvolveu nos últimos anos, sendo o sucesso no cultivo da espécie exótica *Litopenaeus vannamei* Boone 1831, particularmente na região nordeste, apontado como o principal fator que desencadeou o crescimento da carcinicultura nacional (Poersch *et al.* 2006, Rocha 2008). A aquicultura marinha para todo o território nacional no ano de 2005 teve sua produção estimada em 78.034 t, sendo que o cultivo de crustáceos foi estimado em 63.133 t (BRASIL 2005a). Nos anos 2006 e 2007, a carcinicultura marinha manteve sua produção anual no patamar de 65.000 t (Rocha 2008).

Apesar dos benefícios gerados pela carcinicultura, esta atividade também é motivo de preocupação em todo o mundo em função dos seus impactos ambientais potenciais (BRASIL 2002; GAA 2001). A zona costeira é

considerada fundamental para as atividades humanas em função de sua alta produtividade biológica, processos biogeoquímicos e seus usos múltiplos, tais como a ocupação agrícola, urbana e industrial, além de portos, pesca, aquicultura e turismo (Primavera 2006). A produção de camarão em viveiros libera efluentes ricos em partículas orgânicas, sedimentos em suspensão, microorganismos e macronutrientes (particularmente nitrogênio e fósforo) nos estuários e costa adjacente (Páez-Osuna *et al.* 1998, Boyd 2003, Figueiredo *et al.* 2005). Os efluentes dos viveiros de cultivo de camarões também podem ter uma salinidade maior do que a da água marinha (devido a evaporação nos viveiros), bem como conter antibióticos e outros produtos químicos utilizados no controle de doenças dos organismos cultivados (Páez-Osuna 2001). Esta carga de contaminantes tem afetado importantes habitats de recursos pesqueiros, como manguezais, apicuns e recifes de corais (Boyd 2003, Coelho Jr. & Novelli 2003). Paradoxalmente, a carcinicultura depende do suprimento de água limpa, larvas e outros serviços dos ecossistemas costeiro-marinhos (Coelho Jr. & Novelli 2003).

Os impactos ambientais e os benefícios econômicos da carcinicultura têm gerado discussões em torno de um desenvolvimento sustentável desta atividade (Botelho 1992, Philips 1995, Jones *et al.* 2001, Primavera 2006), promovendo a procura de métodos eficientes e de baixo custo para o tratamento dos efluentes, antes de sua descarga, e o reaproveitamento dos nutrientes liberados (Brown & Glenn 1999, Jones *et al.* 2001, Boyd 2003). Uma solução viável ao desenvolvimento sustentável da carcinicultura é o cultivo integrado com organismos biofiltradores. Tais biofiltradores naturais são animais e plantas que podem produzir condições estáveis de qualidade da

água para o cultivo dos animais marinhos, assimilando parte dos efluentes ricos em nutrientes, bem como constituírem por si culturas adicionais que podem gerar um retorno econômico.

O tratamento de efluentes com plantas biofiltradoras está inserido entre os processos denominados genericamente como fitorremediação, ou seja, o tratamento *in situ* de resíduos danosos ao homem e/ou meio ambiente através do uso da vegetação. Macroalgas bentônicas são biofiltradoras efetivas em sistemas fechados intensivos (Neori *et al.* 1996; Shpigel & Neori 1996), entretanto, em sistemas abertos onde o efluente é descarregado em valas ou canais, macroalgas podem ter seu crescimento limitado pela luz ou pela deposição de material sólido em suspensão (Phillips 1995). Alternativamente, a utilização em escala experimental de sistemas integrados de macroalgas (*Gracilaria sp.*) com filtradores de material em suspensão (ostras) para tratamento de efluentes de fazendas de camarão demonstrou resultados promissores (Kinne *et al.* 2001, Jones *et al.* 2001), reduzindo em 41% e 52%, respectivamente, os teores totais de nitrogênio e fósforo (Jones *et al.* 2001).

A domesticação de plantas superiores halófitas (tolerantes à salinidade) é uma possibilidade promissora para o tratamento de efluentes salinos (Brown & Glenn 1999, Siordia-Grave & Sosa-Pérez 2003, Costa 2006a). As plantas cultivadas associadas a projetos de aquicultura assimilam luz através de suas folhas na atmosfera, sem interferência do material em suspensão no efluente, removem uma fração significativa dos nutrientes do efluente e podem fornecer um retorno econômico para o cultivador. A remoção dos nutrientes ocorre através da absorção pelas raízes no sedimento (Quan *et al.* 2007), mas também as raízes e hastes das plantas criam uma grande superfície de fixação

de microorganismos, que podem purificar a água (Hammer 1992, Schwartz & Boyd 1995, Rueda-Puente *et al.* 2003). Este método também pode reduzir o volume de efluente através da evapotranspiração das plantas (Brown *et al.* 1999, Boyd 2003).

A aplicação da fitorremediação com plantas superiores na maricultura de crustáceos ou peixes depende da disponibilidade de cultivares halófitas (Somers 1982, Glenn *et al.* 1998b, Boyd 2003, Siordia-Grave & Sosa-Pérez 2003), que podem ser obtidas na rica flora de plantas halófitas de marismas e manguezais na costa brasileira (Costa & Davy 1992, Costa 1998, 2006b) e em outras regiões do mundo (Gallagher 1985, Glenn *et al.* 1997, Glenn *et al.* 1998). Plantas de marisma, por exemplo, possuem alta produtividade primária e capacidade assimilativa para nitrogênio (N) e fósforo (P) através de suas raízes (Costa 2006b, Quan *et al.* 2007).

Espécies da halófita *Salicornia*, gênero cosmopolita de plantas da família Amaranthaceae, quando irrigadas com água salgada tornam-se importantes produtores de forragem, bem como subprodutos ricos em proteína e carboidratos que podem ser utilizados para aquicultura, na alimentação de gado, galinhas e ovelhas, além de suplementos alimentares (biomassa rica em potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e selênio)(Glenn & O'Leary 1985, Glenn *et al.* 1998, Davy *et al.* 2001, Siordia-Grave *et al.* 2003). Este gênero é considerado o mais promissor para agricultura com água salgada. Suas sementes contêm altos níveis de óleo (cerca de 30%) sendo que este contém cerca de 75% de ácido linoleico (Glenn *et al.* 1991, Glenn *et al.* 1998). O cultivo de *Salicornia* constitui uma alternativa viável de sequestro de carbono atmosférico em áreas costeiras semiáridas e desérticas, onde não há

possibilidade de reflorestamento com espécies não halófitas (Glenn *et al.* 1992). Hodges *et al.* (1993) propuseram a produção de biodiesel com óleo extraído de *Salicornia* ou de mistura de 30%:70% de biodiesel e diesel para veículos automotores. Fazendas experimentais na Arábia Saudita irrigadas com água do mar têm produzido uma média de 0,3 t de óleo por tonelada de sementes de *Salicornia bigelovii* (Panhwar & Panhwar 1995). Segundo C. Hodges, em entrevista recente (Dickerson 2008), uma fazenda de 400 ha de *Salicornia bigelovii* instalada em Tostiota (México) produziu durante o outono boreal 2008 cerca de 208500 litros de biodiesel, ou seja, 521 litros/ha.

No Brasil, possuímos uma planta nativa taxonomicamente relacionada a *Salicornia bigelovii* e que nunca foi explorada comercialmente. A *Amaranthaceae Salicornia gaudichaudiana* Moq. demonstra um grande potencial de ser utilizada como cultivar para fitorremediação de efluentes do cultivo de camarão marinho ao longo de toda costa brasileira. *Salicornia gaudichaudiana* é uma planta perene, pioneira na ocupação de planos de lama entremarés, que apresenta ampla distribuição nos manguezais e marismas da costa atlântica da América do Sul (Costa & Davy 1992, Menezes & Peixoto 2000). *Salicornia gaudichaudiana* é abundante nos pisos médios das marismas sujeitos a grandes flutuações de salinidade intersticial, inclusive concentrações salinas maiores do que a da água do mar (Costa 1997, Souza-Filho & Paradela 2002, Isacch *et al.* 2006). Propaga-se por crescimento vegetativo e através de sementes, sendo os caules capazes de rebrotamento após poda (Costa & Neves 2006, Costa 2006a, Costa *et al.* 2006a). Estudos realizados na Unidade de Pesquisa e Germoplasma de Halófitas, Instituto de Oceanografia, da Universidade Federal do Rio Grande – FURG (Rio Grande, RS), caracterizaram

as condições ideais de germinação das sementes de *Salicornia gaudichaudiana* (Lopes 2000, Leite *et al.* 2007), ciclo fenológico (Azevedo 2000), respostas de crescimento aos estresses de salinidade, temperatura e radiação UV solar no sul do Brasil (Neves & Costa 2001, Costa & Neves 2006, Costa *et al.* 2006b). Recentemente esta espécie foi redescrita taxonomicamente como *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo, no trabalho revisional das espécies sulamericanas do gênero *Sarcocornia* realizado por Alonso & Crespo (2008).

Análises preliminares da composição química dos caules e sementes da *Salicornia gaudichaudiana* sugerem várias possibilidades de retorno econômico da biomassa produzida desta espécie. Caules e sementes de *Salicornia gaudichaudiana* demonstram altos teores protéicos (respectivamente, 8 e 12%) e de cinzas (26,9 e 7,4%)(Augusto-Ruiz *et al.* 2000, Concha *et al.* 2000, Costa *et al.* 2006b), presença de saponinas, iodo, tocofenóis,  $\beta$ -sitosterol e estigmasterol (EPAGRI 2008). Análise de triglicerídeos e ácidos graxos das sementes de *Salicornia gaudichaudiana* demonstraram teores de 10-15%, sendo que o mesmo método aplicado aos caules reprodutivos (tecido vegetativo e estruturas reprodutivas) resultou em um teor médio de 3,5% de triglicerídeos e ácidos graxos (Viêgas *et al.* 2007). Recentemente análises de sementes da *Salicornia gaudichaudiana* confirmam a abundância de ácido linoléico (ômega 6; 75% a 79%) e ácido linolênico e (ômega 3; 1,5% a 2,3%)(EPAGRI 2008).

O primeiro cultivo de *Salicornia gaudichaudiana* irrigada com efluente de carcinicultura marinha foi realizado no estado do Ceará (Costa 2006a, 2006b, Costa *et al.* 2006a), sendo obtida uma boa produtividade por safra (5 meses;

8,9 t Matéria Fresca ha<sup>-1</sup>) e uma redução média de 42,9% da amônia, 54,0% do nitrato e 66,7% do ortofosfato solúvel após a passagem pelo canteiro desta planta. Não existe informação comparativa do cultivo desta espécie em regiões temperadas da América do Sul, apesar de sua ampla distribuição em zonas entremarés até 55° S na Terra do Fogo (Isacch *et al.* 2006). Adicionalmente, a eficiência da aplicação da irrigação de águas salinas é um ponto chave para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável de halófitas. Mesmo as mais tolerantes halófitas têm limites fisiológicos ao teor de umidade e excesso de sal em seu sistema radicular (Miyamoto *et al.* 1996, Davy *et al.* 2001, Flowers 2004), que quando são superados podem inibir fortemente o crescimento das plantas. Os comportamentos da umidade e do teor de sal no sedimento irrigado são característicos para o tipo de granulometria do sedimento, clima local e taxa de evapotranspiração do cultivo, sendo estes aspectos do cultivo ainda desconhecidos para *Salicornia gaudichaudiana*.

No Rio Grande do Sul, *Litopenaeus vannamei* é cultivado em viveiros na região estuarina da Lagoa dos Patos (Peixoto *et al.* 2005). A primeira fazenda de cultivo de camarão nesta região entrou em atividade no verão de 2002/2003, no município de São José do Norte, utilizando 3,2 ha de viveiros (tipo tanques-piscina) e alcançando uma produtividade de cerca de 1500 kg de camarão por hectare por safra (novembro a abril)(Poersch *et al.* 2006). Atualmente, cinco fazendas estão em processo de licenciamento em São José do Norte e outras cinco em Rio Grande, municípios situados às margens do estuário da Lagoa dos Patos (FEPAM 2009). Levando em consideração a área esperada de viveiros, a carga de efluentes gerada pela carcinicultura poderá em curto prazo exercer impacto significativo nos processos de produção

fitoplanctônica, decomposição e sedimentação do estuário da Lagoa dos Patos, que já demonstra sinais de eutrofização, particularmente em enseadas protegidas (Baumgarten *et al.* 1995). A fitorremediação dos efluentes da carcinicultura através da utilização de canteiros-filtro de *Salicornia*, pode ser uma boa alternativa econômica para que os cultivadores da região atinjam os requisitos de qualidade dos efluentes exigidos pelos órgãos ambientais. Certificações de produtos originados através de melhores práticas de manejo ("best management practices" ou BMPs), amigáveis com o meio ambiente, estão sendo estabelecidas em várias partes do mundo (Boyd 2003), e levam a incorporação de melhores preços aos produtos ditos "verdes".

Este trabalho visou a avaliação da sobrevivência, do crescimento e da produtividade de *Salicornia gaudichaudiana* irrigada com efluente do cultivo de camarão, desenvolvido em viveiros no clima temperado do extremo sul do Brasil. Adicionalmente, ele também avaliou a eficiência depuradora da carga de nitrogenados e fosfato do efluente após a passagem através do canteiro-filtro de *Salicornia gaudichaudiana*.

### 1.1. Objetivos

1 - Avaliar a sobrevivência e o desenvolvimento de mudas de *Salicornia gaudichaudiana* com diferentes tamanhos, cultivadas com efluente de viveiros de camarão *Litopenaeus vannamei*, na costa gaúcha;

2 - Avaliar a produtividade de *Salicornia gaudichaudiana* no canteiro irrigado;

3 - Quantificar a alocação de biomassa para componentes aéreos e subterrâneos por *Salicornia gaudichaudiana* frente a heterogeneidade espacial do canteiro irrigado;

4 - Avaliar a capacidade do cultivo *Salicornia gaudichaudiana* de reduzir os teores de nitrogenados e fosfato total presentes no efluente do cultivo de camarão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Produção de mudas

Plantas de *Salicornia gaudichaudiana* com sementes foram coletadas nos primeiros dias de junho de 2007 na Ilha das Pombas (Rio Grande, RS) localizada no estuário da Lagoa dos Patos (RS, 32°01'50"S, 52°07'70"W), levadas ao laboratório e secas em temperatura ambiente por uma semana. As sementes foram limpas em solução de hipoclorito a 5% durante cinco minutos, colocadas sobre papel-filtro umedecido com água destilada em placas de Petri, previamente autoclavadas. Cinquenta sementes foram colocadas por placa e as placas mantidas em incubadora com termoperíodo e fotoperíodo de 12h de luz a 30 °C, 12h de escuro a 20 °C. Plântulas com 7 a 14 dias de idade, já com os dois primeiros cotilédones, foram transferidas para o meio semissólido de cultura (Agar Agar) por um período adicional de 5 a 10 dias para facilitar o desenvolvimento das raízes, reduzindo o risco de morte por dessecação. Após este período as plântulas foram transferidas do meio semissólido para bandejas semeadeiras contendo uma mistura de areia quartzosa de praia com composto orgânico (na proporção 1:1). As bandejas foram mantidas em estufa não climatizada na Unidade de Pesquisa e Germoplasma de Halófitas (UNIHALO) do Laboratório de Ecologia Vegetal Costeira (Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande-FURG), até o plantio em um canteiro (Figura 1).

## 2.2. Plantio e desenho experimental

As mudas de *Salicornia gaudichaudiana* foram plantadas em um canteiro construído na Unidade de Viveiros de Cultivo de Camarão do Laboratório de Carcinicultura (Instituto de Oceanografia/FURG) localizada na Estação Marinha de Aquicultura (EMA/FURG), no Balneário Cassino, Segundo Distrito do município de Rio Grande (RS). Foi construído um canteiro de cultivo com 9 x 4 m, sendo o perfil topográfico suavizado (declividade de  $0,05 \text{ m m}^{-1}$ ) e um sulco cavado em zig-zag desde a entrada do efluente, na parte superior, até um valo de captação-saída, que funcionou como um "ladrão" durante períodos de chuvas (Figura 2).

Em janeiro de 2008, as mudas de *Salicornia* foram plantadas nas elevações entre sulcos (Figura 3). As plantas foram dispostas com espaçamento de 15 cm em 13 linhas de elevações, com cerca de 27 mudas em cada linha de elevação. Duas elevações ficaram com 26 mudas e uma elevação com 28 mudas, totalizando 350 mudas plantadas. A densidade média foi de aproximadamente 10 plantas por  $\text{m}^2$ . Em cada elevação, foram intercaladas mudas grandes (com 8 semanas) e pequenas (4 semanas). Durante a primeira semana do experimento, mudas que não sobreviveram foram substituídas por outras da mesma idade. O canteiro foi dividido em três níveis, denominados alto, médio e baixo, sujeitos a diferentes condições de retenção de umidade e tempo de alagamento dos sulcos, devido ao grau de inclinação do canteiro e a porosidade do sedimento local, que é arenoso. Os níveis alto, médio e baixo do canteiro continham, respectivamente, 108, 135 e 107 mudas.

### 2.3. Colheita final e parâmetros de crescimento

As plantas foram cultivadas até o dia 15 de abril de 2008, quando foi efetuada a colheita, totalizando 100 dias de cultivo (Figura 4). Nesta época as plantas já haviam alcançado o estágio pós-floração, com o início da formação das sementes.

Todas as plantas sobreviventes foram colhidas (262 plantas), através do corte do caule logo acima da superfície do sedimento, acondicionadas individualmente em sacos plásticos e identificadas (Figuras 5 e 6). Dez plantas foram escolhidas aleatoriamente de cada nível do canteiro (5 originadas de mudas pequenas e 5 de mudas grandes) para biometria. Para cada uma destas plantas foram medidos o peso úmido, a altura (comprimento do caule principal), número de ramificações do caule principal e os números de segmentos vegetativos e reprodutivos da primeira ramificação no terço superior do caule principal. Estas dez plantas de cada nível, também tiveram suas raízes cuidadosamente removidas do sedimento e armazenadas em sacos plásticos identificados. A biomassa aérea de todas as plantas e a biomassa subterrânea das 10 plantas escolhidas aleatoriamente em cada nível do canteiro para realização da biometria foram estimadas após a secagem das plantas (60 °C por 48 horas) e pesagem em balança de precisão ( $\pm 0,01$  g).

Para cada nível do canteiro, foram obtidas cinco amostras de biomassa aérea e de biomassa subterrânea para análise do teor incorporado de nitrogênio e fósforo. Teores totais de nitrogênio e fósforo das amostras de *Salicornia* foram determinados em biomassa seca, através, respectivamente,

dos métodos Kjeldahl e do princípio colorimétrico após digestão ácida (Allen *et al.* 1976). As análises foram efetuadas no Laboratório de Nutrição Vegetal da Embrapa/CPACT em Pelotas (RS).

#### 2.4. Dados meteorológicos, de sedimento e monitoramento da composição do efluente de irrigação

Dados de meteorológicos diários de precipitação e temperatura do ar (mínima e máxima) foram obtidos na Estação Meteorológica da FURG, em Rio Grande (RS), localizada a 15 km do local de cultivo.

O efluente utilizado para irrigação diária do canteiro foi proveniente de um viveiro com densidade inicial de 200 camarões  $m^{-2}$ , alimentados com ração Active da marca GUABI, com 38 % de proteína bruta em pelete de 1,6 mm de diâmetro. O efluente foi bombeado através de uma bomba de 3/4 HP do viveiro de camarão até o canteiro de *Salicornia*. A irrigação efetuada foi de 450 litros a cada bombeamento (30 litros por minuto durante 15 minutos), com uma frequência de quatro vezes por dia.

A salinidade do efluente foi estimada diariamente com refratômetro. Amostras de sedimento superficial (0-10 cm) foram utilizadas para estimar o teor de sal e o percentual de umidade nos níveis alto, médio e baixo do canteiro. Em cada data de coleta foram obtidas três amostras aleatórias em cada nível do canteiro. O teor de umidade do sedimento foi quantificado por pesagens sucessivas das amostras antes e depois de secagem em estufa a 60 °C por 48 horas e expresso como porcentagem. A salinidade do sedimento foi medida no sobrenadante após 30 minutos de mistura de 20 g de sedimento

seco com 20 ml de água destilada, sendo expressa em  $\text{gNaCl Kg}^{-1}$ . O sedimento foi coletado nas elevações entre sulcos, em cinco datas (03 de fevereiro, 14 de fevereiro, 28 de março, 4 de abril e 10 de abril), sempre antes da irrigação quando a maioria dos sulcos encontravam-se drenados. Em três datas, as amostras de sedimento foram coletadas apenas antes da quarta irrigação diária e, em duas datas, antes de cada uma das quatro regaduras.

Nas mesmas datas e horários em que foram coletadas amostras de sedimento superficial, três amostras do efluente foram coletadas na entrada do canteiro, respectivamente, após 0, 7 e 15 minutos do início da irrigação. Outras três amostras foram coletadas na saída do canteiro, após o efluente percorrer todo o canteiro, a intervalos consecutivos de 5 minutos. As amostras foram filtradas com filtros Whatman GF/F pré-pesados. Em todos os casos, os filtrados foram congelados e posteriormente as concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) e fosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) foram estimadas através de espectrofotometria na faixa de luz visível. As análises dos nutrientes dissolvidos foram realizadas no Laboratório de Hidroquímica – FURG. O procedimento analítico foi de acordo com os métodos descritos por Baumgarten *et al* (1996).

## 2.5. Análise dos Dados

Para todas as variáveis 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 paramétricas. As

variáveis medidas sofreram transformações matemáticas, quando necessário, para satisfazer os requisitos de normalidade e homocedasticidade (Tabela 1).

Diferenças na mortalidade de mudas entre os níveis do canteiro e entre mudas de diferentes tamanhos foram testadas através do teste Chi-quadrado ( $X^2$ ) a 5% de significância.

As alturas inicial e final das plantas, os números de ramificações do caule principal no início e final do cultivo, as biomassas aérea e subterrânea no final do cultivo foram testadas por Análise de Variância bifatorial (Zar 1984), sendo um fator o tamanho inicial da planta (grande ou pequeno) e o outro os níveis do canteiro (alto, médio ou baixo). As análises incluíram ainda o fator interação entre o tamanho da planta e o nível do canteiro e resultaram em um desenho experimental 2 x 3. Adicionalmente, para cada nível do canteiro foi obtido o relacionamento entre a biomassa individual úmida e a biomassa seca através de Regressões Lineares (Zar 1984).

Diferenças nos teores de nitrogênio e fósforo dos tecidos aéreos e subterrâneos de *Salicornia* foram testadas entre os níveis do canteiro através de Análise de Variância bifatorial, incluindo interação, sendo um fator o tipo de tecido vegetal (aéreo e subterrâneo) e o outro os níveis do canteiro (alto, médio e baixo), produzindo um desenho experimental 2 x 3.

As concentrações de nutrientes dissolvidos (nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito e fosfato) no efluente foram comparadas entre a entrada e o valo de captação (saída do canteiro) e entre as datas de monitoramento através de Análises de Variância (Zar, 1984). A diferença porcentual entre os valores médios das concentrações dos nutrientes da entrada e da saída do efluente foi utilizada como valor de estimativa de eficácia de redução dos nutrientes. Para

as datas em que as amostras de efluente foram coletadas, as amostras da coleta das 17 horas foram comparadas por Análise de Variância bifatorial, incluindo interação, onde um fator foi a data da coleta (quatro datas) e o outro fator foi denominado passagem (entrada e saída do canteiro), produzindo um desenho experimental  $4 \times 2$ . O fator data é o indicador da variação na composição do efluente ao longo do experimento, o fator passagem é o indicador da eficiência global de remoção de nutrientes no canteiro e o fator de interação (entre passagem e datas) é o indicador da variação da eficiência de remoção de nutrientes ao longo do experimento. Os dados de fosfato do dia 28 de março foram excluídos das análises estatísticas, devido a contaminação das amostras durante a filtragem-conservação.

Para as duas datas em que as amostras do efluente foram coletadas antes das quatro irrigações diárias foi realizada uma Análise de Variância trifatorial para cada nutriente, incluindo os fatores data (duas datas), horário de coleta (quatro horários) e passagem (entrada e saída do canteiro), perfazendo um desenho experimental  $2 \times 4 \times 2$ . Os fatores data e hora indicam a variação do efluente ao longo do experimento, o fator passagem é o indicador da eficiência global de remoção de nutrientes no canteiro e as interações de segunda ordem consideradas (passagem x data e passagem x hora) refletem a variação da eficiência de remoção de nutrientes ao longo do experimento.



Figura 1: Muda de *Salicornia gaudichaudiana* em bandeja semeadeira na estufa do Instituto de Oceanografia (FURG).



Figura 2: Canteiro de cultivo de *Salicornia gaudichaudiana* construído na Estação Marinha de Aquicultura (EMAFURG), Balneário Cassino, Rio Grande (RS).



Figura 3: Mudas de *Salicornia gaudichaudiana* logo após plantio no canteiro.



Figura 4: Canteiro de *Salicornia gaudichaudiana* após 100 dias de cultivo irrigado com efluente da carcinicultura. A direita na foto pode ser observado o nível alto do canteiro onde ocorreu uma maior mortalidade e menor desenvolvimento das plantas sobreviventes.



Figura 5: Colheita de *Salicornia gaudichaudiana* através de corte do caule principal logo acima do sedimento.



Figura 6: Armazenamento individual da parte aérea de *Salicornia gaudichaudiana* em saco plástico após a colheita.

Tabela 1: Relação das variáveis medidas e respectivas transformações matemáticas, quando necessárias, utilizadas para atender os requisitos de normalidade e homocedasticidade para análise estatística paramétrica.

Variável	Transformação matemática
Altura inicial	$\text{Log}_{10}(\text{variável} + 1)$
Biomassa aérea final	$\text{Log}_{10}(\text{variável} + 1)$
Altura final	Sem transformação
Número de ramificações final	$\text{Log}_{10}(\text{variável} + 1)$
Biomassa subterrânea	Sem transformação
Razão de alocação em biomassa subterrânea	$\text{Log}_{10}(\text{variável} + 1)$
Percentual de investimento em estruturas reprodutivas	$\text{Arcosseno}(\text{raiz quadrada}(\text{variável}))$
Amônio (ANOVA bifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$
Nitrito (ANOVA bifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$
Nitrato (ANOVA bifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$
N total (ANOVA bifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$
Fosfato (ANOVA bifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$
Amônio (ANOVA trifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$
Nitrito (ANOVA trifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$
Nitrato (ANOVA trifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$
N total (ANOVA trifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$
Fosfato (ANOVA trifatorial)	$\text{Log}_{10}(\text{variável})$

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Dados Meteorológicos e do Sedimento do Canteiro

Entre janeiro e abril de 2008, período de cultivo de *Salicornia* no canteiro, a temperatura atmosférica mínima diária variou de 4,7 °C a 24,6 °C ( $18,9 \pm 0,3$  °C; média  $\pm$  erro padrão) e a temperatura máxima diária variou entre 18,8 °C a 33,0 °C ( $27,1 \pm 0,2$  °C). A precipitação diária variou de 0 a 99 mm, com uma média de  $3,5 \pm 1,6$  mm, ou seja, um total de 347 mm nos 100 dias de cultivo (Figura 7a). Durante o cultivo de *Salicornia* a água do viveiro apresentou valores diários de pH, oxigênio dissolvido e salinidade, respectivamente, de 7,6 a 8,8, de 3,13 a 12,45 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> e de 22 a 40 g NaCl L<sup>-1</sup>. A salinidade média da água de cultivo foi de  $35,4 \pm 0,5$  g NaCl L<sup>-1</sup>. Em termos temporais, foi observada uma marcada mudança na salinidade do viveiro entre os dias 14 e 15 de março de 2008, quando os valores caíram de 38 para 29 g NaCl L<sup>-1</sup>, ocorrendo posteriormente uma gradual redução até 22 NaCl L<sup>-1</sup>, no início de abril, quando as plantas foram coletadas. Chuvas localizadas na região do cultivo, não registradas na estação meteorológica da FURG, foram responsáveis por esta redução da salinidade, que também foi refletida por aumentos nos valores de pH e de oxigênio dissolvido no dia 15 de março.

As amostragens do sedimento feitas às 17 horas demonstraram uma diferença significativa do teor médio de umidade entre os níveis do canteiro ( $F_N = 41,72$ ;  $p < 0,001$ ). Em termos das médias globais do experimento, o maior teor de umidade foi encontrado no nível baixo do canteiro para todas as datas ( $5,0 \pm 1,0\%$ ; média  $\pm$  erro padrão), porém o teste de contrastes múltiplos de

Tukey não detectou diferença estatística entre os níveis alto ( $1,5 \pm 0,4\%$ ) e médio ( $2,3 \pm 0,6\%$ ) ( $p > 0,05$ ). Entre as datas, um valor médios de umidade no sedimento mais alto ( $F_D = 51,83$ ;  $p < 0,001$ ) foi verificado na primeira quinzena de fevereiro ( $5,6 \pm 0,7\%$ ) (Figura 7b). Em duas datas em que a amostragem foi feita em quatro horários ao longo do dia, o teor de umidade do sedimento seguiu o padrão de maior valor médio no nível baixo do canteiro ( $F_N = 38,31$ ;  $p < 0,001$ ). Entretanto, a umidade não teve variação significativa entre os horários de coleta ( $F_H = 1,54$ ;  $p > 0,20$ ; Figura 8).

A salinidade das amostras de sedimento às 17 horas variou significativamente entre as cinco datas amostradas ( $F_D = 62,99$ ;  $p < 0,001$ ). A menor quantidade média de sal no sedimento foi encontrada em fevereiro e maiores valores ocorreram entre o final de março e o começo de abril. Entre os níveis, a diferença na salinidade foi significativa ( $F_N = 9,68$ ;  $p < 0,001$ ), onde o teste de Tukey detectou uma maior salinidade média no nível baixo (média global =  $20,5 \pm 8,4$  g NaCl kg<sup>-1</sup> sedimento), sem diferença significativa entre os níveis alto ( $5,2 \pm 0,9$  g NaCl kg<sup>-1</sup> sedimento) e médio ( $6,1 \pm 1,2$  g NaCl kg<sup>-1</sup> sedimento) ( $p > 0,05$ ). A interação significativa entre valores das datas e níveis ( $F_{D \times N} = 12,03$ ;  $p < 0,001$ ; Figura 7c) indicou que o padrão observado entre níveis pode desaparecer. Por exemplo, salinidade zero foi encontrada em todos os níveis (inclusive, horários de amostragem) no dia 03/02/2008, sendo que choveu no dia anterior (Figura 8).

Em função dos valores de salinidade terem sido zero nos quatro horários de amostragem do dia 03/02/2008, apenas os dados do dia 10/04/2008 foram analisados estatisticamente. Nesta data, a salinidade do sedimento não apresentou diferenças significativas entre os horários ao longo do dia ( $F_D =$

1,42;  $p > 0,20$ ), mas a salinidade média diária do nível baixo foi significativamente maior do que as dos níveis alto e médio ( $F_N = 27,30$ ;  $p < 0,001$ ).

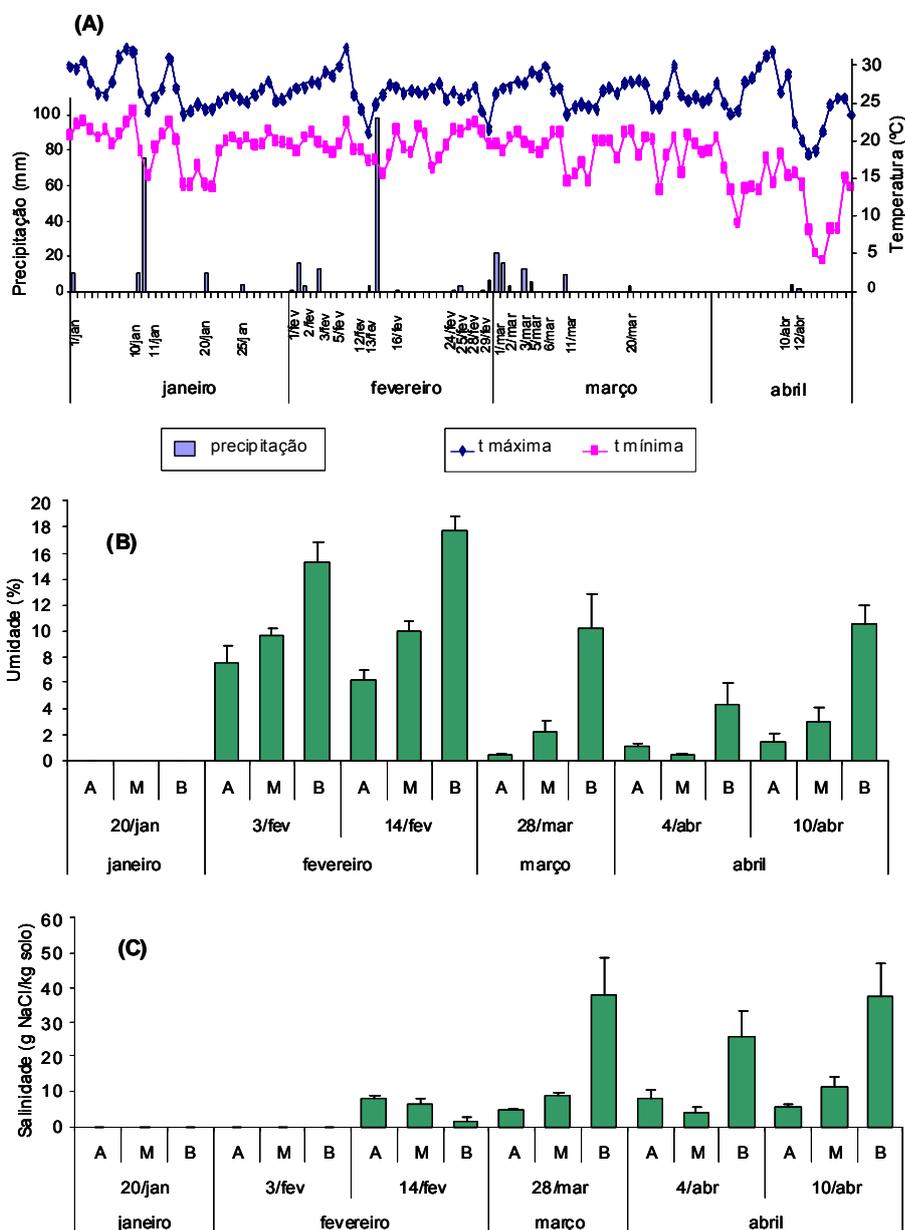


Figura 7: Taxa de precipitação e temperaturas atmosféricas máxima e mínima diárias ao longo do cultivo de *Salicornia gaudichaudiana* em Rio Grande (RS) (A). São também apresentados o teor de umidade (B) e a salinidade (C) no sedimento superficial do canteiro nos níveis alto (A), médio (M) e baixo (B), em cinco datas do período de cultivo, antes da irrigação diária das 17 horas.

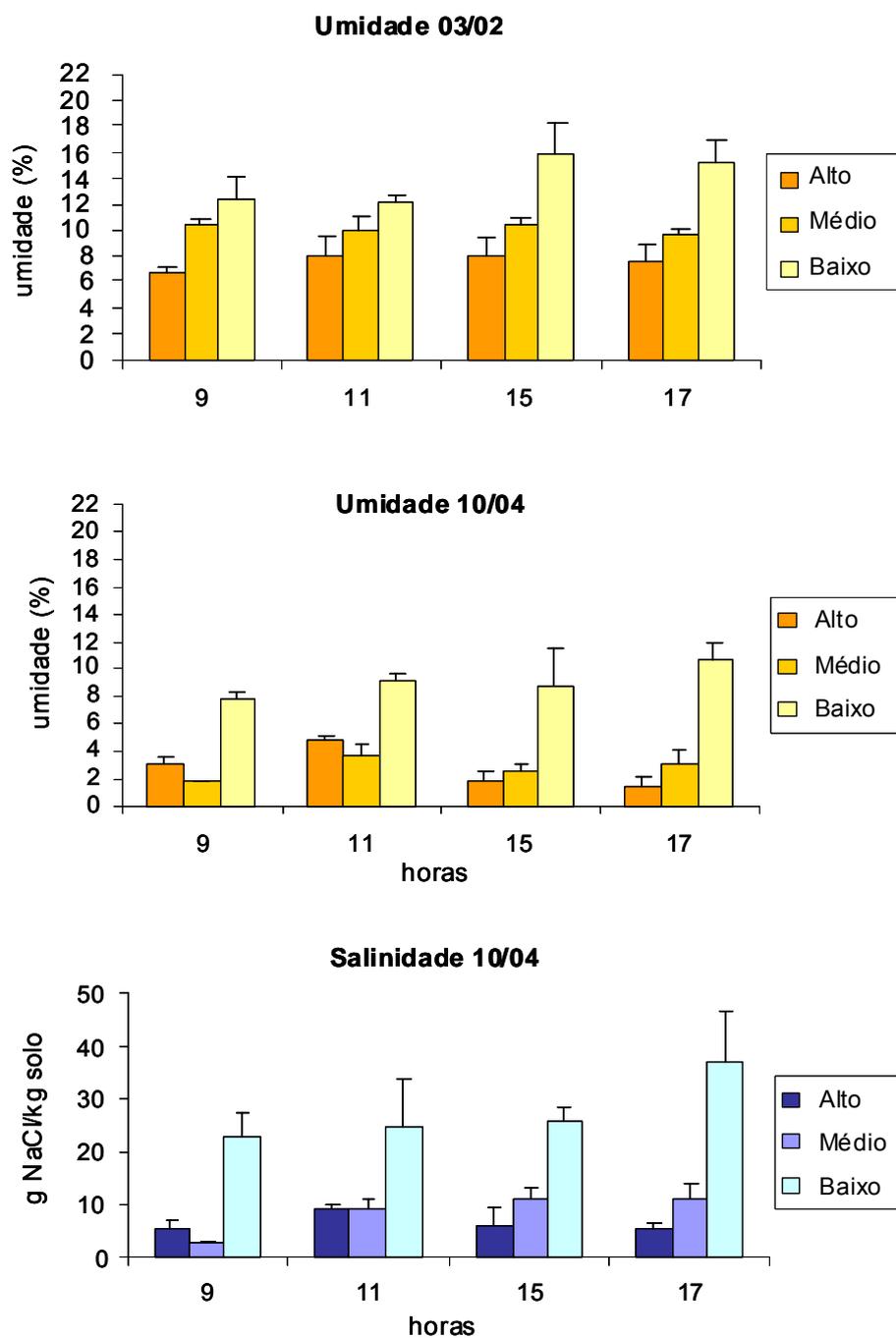


Figura 8: Teor de umidade e salinidade do sedimento superficial do canteiro amostrados antes das quatro irrigações diárias nas datas 03 de fevereiro e 10 de abril de 2008. A salinidade foi zero nos três níveis do canteiro no dia 03 de fevereiro de 2008.

### 3.2. Tamanho inicial das mudas

Mudas de *Salicornia gaudichaudiana* classificadas como grandes e pequenas apresentaram altura inicial significativamente diferentes ( $F_T = 257,20$ ;  $p < 0,001$ )(Tabela 2). A altura média para mudas grandes foi  $7,00 \pm 0,20$  cm (média  $\pm$  erro padrão) e  $3,50 \pm 0,17$  cm para mudas pequenas. A altura inicial média global das mudas não diferiu entre os níveis do canteiro ( $F_N = 2,25$ ;  $p > 0,05$ ). A diferença no número inicial de ramificações entre as mudas grandes e pequenas também foi significativa ( $F_T = 61,30$ ;  $p < 0,001$ ), possuindo as mudas grandes em média  $3,18 \pm 0,27$  ramificações e as mudas pequenas  $0,70 \pm 0,14$  ramificações. O número de ramificações também não apresentou diferença entre os níveis do canteiro ( $F_N = 2,06$ ;  $p > 0,05$ ). No entanto, a interação entre o tamanho inicial da muda e o nível do canteiro foi significativa para a altura inicial ( $F_{N \times T} = 26,44$ ;  $p < 0,001$ ) e para o número de ramificações ( $F_{N \times T} = 3,20$ ;  $p < 0,05$ )(Tabela 2), devido a uma aproximação dos valores entre mudas grandes e pequenas no nível baixo.

### 3.3. Mortalidade de mudas

Ao final dos 100 dias de cultivo foi verificada uma mortalidade de 25% das plantas de *Salicornia gaudichaudiana*. Entretanto ocorreu uma diferença significativa da mortalidade entre os níveis do canteiro ( $X^2 = 52,49$ ,  $p < 0,0001$ ), sendo mais intensa no nível alto (perda de 45%) do que nos níveis médio (20%) e baixo (12%). Nos níveis alto e baixo a mortalidade das mudas pequenas foi, respectivamente, duas ( $X^2 = 53,7$ ;  $p < 0,0001$ ) e três vezes ( $X^2 =$

14,2;  $p < 0,001$ ) maior do que das mudas grandes, enquanto no nível médio não houve diferença estatística ( $X^2 = 14,9$ ;  $p > 0,05$ ) na mortalidade das mudas pequenas e grandes (Figura 9).

#### 3.4. Biometria e biomassa da *Salicornia* após 100 dias de cultivo

No final do cultivo, as plantas nos níveis médio e baixo obtiveram maior desenvolvimento, caracterizado pelas maiores alturas médias ( $F_N = 5,98$ ;  $p < 0,05$ ) e maiores números médios de ramificações no caule principal ( $F_N = 24,52$ ;  $p < 0,001$ ) em relação ao nível alto (Figura 10a, b). Não foram observadas diferenças significativas entre as médias gerais de altura final das plantas originadas de mudas grandes ( $38,2 \pm 5,6$  cm) e de mudas pequenas ( $37,3 \pm 1,4$  cm) ( $F_T = 0,44$ ;  $p > 0,20$ ) (Tabela 4 e Figura 11a). Também não foram observadas diferenças significativas no número de ramificações para este fator ( $F_T = 0,00$ ;  $p > 0,20$ ) (Tabela 3 e Figura 10). As plantas de mudas grandes apresentaram em média  $55,8 \pm 2,8$  ramificações e as de mudas pequenas,  $59,5 \pm 2,2$  ramificações.

Após 100 dias de cultivo as plantas de *Salicornia* apresentaram uma biomassa aérea seca média de  $47,4 \pm 2,2$  g. As plantas do nível alto demonstraram uma biomassa aérea média ( $32,4 \pm 4,0$  g) significativamente ( $F_N = 8,29$ ;  $p < 0,001$ ) menor do que os níveis médio ( $52,2 \pm 3,8$  g) e baixo ( $50,9 \pm 3,1$  g) (Figura 11a). As biomassas aéreas finais médias das plantas originadas de mudas grandes e pequenas não apresentaram diferença significativa ( $F_T = 0,47$ ;  $p > 0,20$ ) (Tabela 4 e Figura 11a). No entanto, no nível alto este padrão geral não ocorreu e as plantas pequenas obtiveram biomassa

significativamente maior do que as plantas grandes ( $F_{N \times T} = 5,53$ ;  $p < 0,001$ , Tabela 4).

A biomassa subterrânea média final também foi significativamente menor ( $F_N = 6,46$ ;  $p < 0,01$ ) no nível alto do canteiro ( $8,5 \pm 0,8$  g) do que no médio ( $10,1 \pm 0,7$  g) e baixo ( $13,9 \pm 0,6$  g) (Figura 11a). A biomassa subterrânea não foi diferenciada entre plantas originadas de mudas grandes e pequenas ( $F_T = 0,06$ ;  $p > 0,20$ ). Os dados de biomassa aérea e subterrânea foram utilizados para calcular o percentual de alocação em biomassa subterrânea (Figura 11b), que foi significativamente diferente entre todos os níveis do canteiro ( $F_N = 19,10$ ;  $p < 0,001$ ). As plantas dos níveis alto ( $37,0 \pm 2,7$  %) e médio ( $32,1 \pm 3,0$  %) investiram significativamente mais na formação de biomassa subterrânea do que as plantas dos nível baixo ( $14,1 \pm 1,1$  %) (Tabela 5). O investimento em biomassa subterrânea não foi diferenciado para plantas originadas de mudas grandes e pequenas ( $F_T = 0,56$ ;  $p > 0,20$ ).

A partir dos números de segmentos reprodutivos e vegetativos na primeira ramificação do terço superior do caule estimou-se o percentual de investimento em estruturas reprodutivas das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* (Tabela 5 e Figura 12). As plantas do nível alto tiveram um investimento reprodutivo significativamente ( $F_N = 6,72$ ;  $p < 0,01$ ) menor ( $37,3 \pm 5,6$  %) do que as dos níveis médio ( $56,6 \pm 3,8$  %) e baixo ( $63,5 \pm 3,3$  %). Além das diferenças percentuais, o número médio de segmentos reprodutivos por ramificação dobrou entre o nível alto ( $12,9 \pm 3,4$  seg. reprod. planta<sup>-1</sup>) e o nível baixo do canteiro ( $24,2 \pm 4,3$  seg. reprod. planta<sup>-1</sup>). Plantas originadas de mudas grandes e pequenas não apresentaram diferenças significativas no investimento final em estruturas reprodutivas ( $F = 2,72$ ;  $p > 0,05$ ).

Os dados de peso seco e úmido das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* demonstraram-se diretamente relacionados de forma significativa (Figura 13a, b, c) em todos os níveis do canteiro ( $r^2$  de 0,89 a 0,98;  $p < 0,001$ ). De forma geral, o peso seco representou cerca de 11% da biomassa úmida (fresca) das plantas. Os dados obtidos (biomassa seca média, densidade final de plantas e relação entre peso seco e peso úmido das plantas) permitem estimar a produção do canteiro por safra. A produção média das três parcelas do canteiro foi  $23,4 \pm 3,9$  ton. ha<sup>-1</sup> de biomassa fresca e  $3,6 \pm 0,2$  ton. ha<sup>-1</sup> de biomassa seca.

Tabela 2: Análise de Variância para altura inicial e número inicial de ramificações das mudas de *Salicornia gaudichaudiana* classificadas como de tamanho grande e pequeno, plantadas em três níveis de elevação no canteiro.

	Altura inicial				Ramificações inicial			
	gl	SQ	F	p	gl	SQ	F	p
Tamanho	1	55,5	257,2	<0,001	1	511,0	61,3	<0,001
Nível	2	0,9	2,2	>0,050	2	34,4	2,0	>0,050
Tamanho x Nível	2	11,4	26,4	<0,001	2	53,4	3,2	<0,050
Erro	344	74,2			344	2867,3		

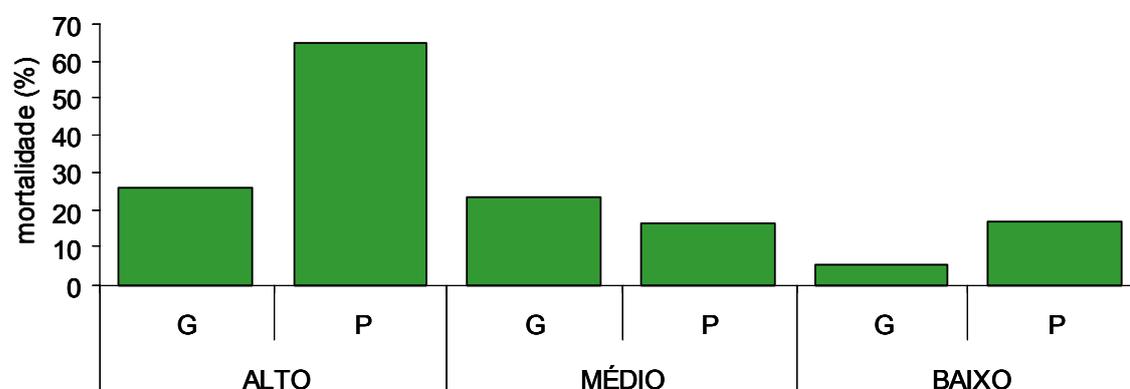


Figura 9: Mortalidade porcentual das mudas de grandes (G) e pequenas (P) nos níveis alto, médio e baixo do canteiro de *Salicornia gaudichaudiana* após 100 dias de cultivo.

Tabela 3: Análise de Variância para altura final e número final de ramificações das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* originadas de mudas de tamanho grande e pequeno, plantadas em três níveis de elevação no canteiro.

	Altura final				Nº ramificações final			
	gl	SQ	F	p	gl	SQ	F	p
Tamanho	1	484,3	0,4	>0,200	1	0,0	0,0	>0,200
Nível	2	13117,9	5,9	<0,001	2	14576,4	24,5	<0,001
Tamanho x nível	2	3311,8	1,5	>0,200	2	995,2	1,6	>0,050
Erro	122	133652,6			122	36259,8		

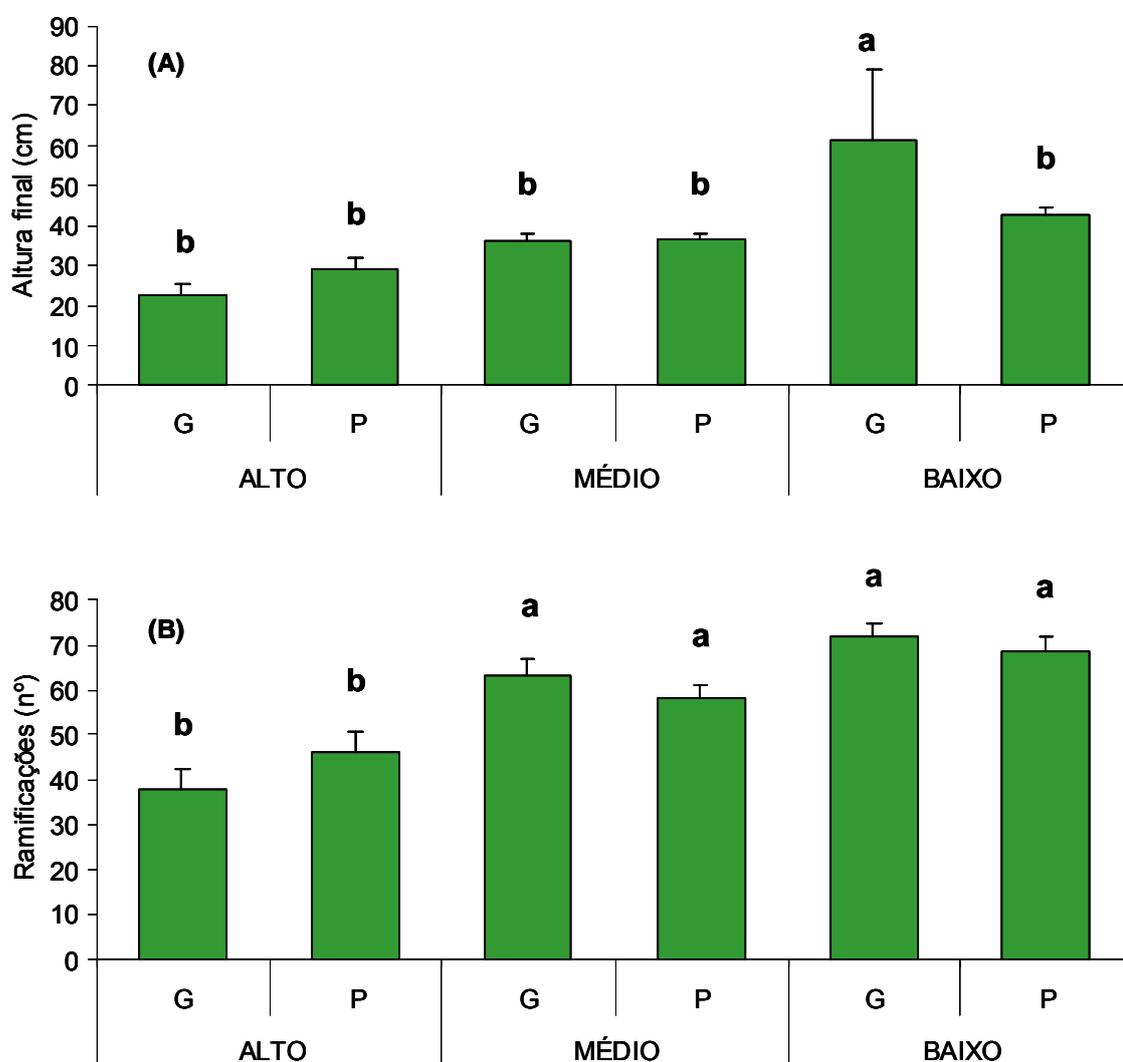


Figura 10: Média  $\pm$  erro padrão da altura final (A) e número final de ramificações (B) das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* originadas de mudas grandes (G) e pequenas (P) nos níveis alto, médio e baixo do canteiro. Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey.

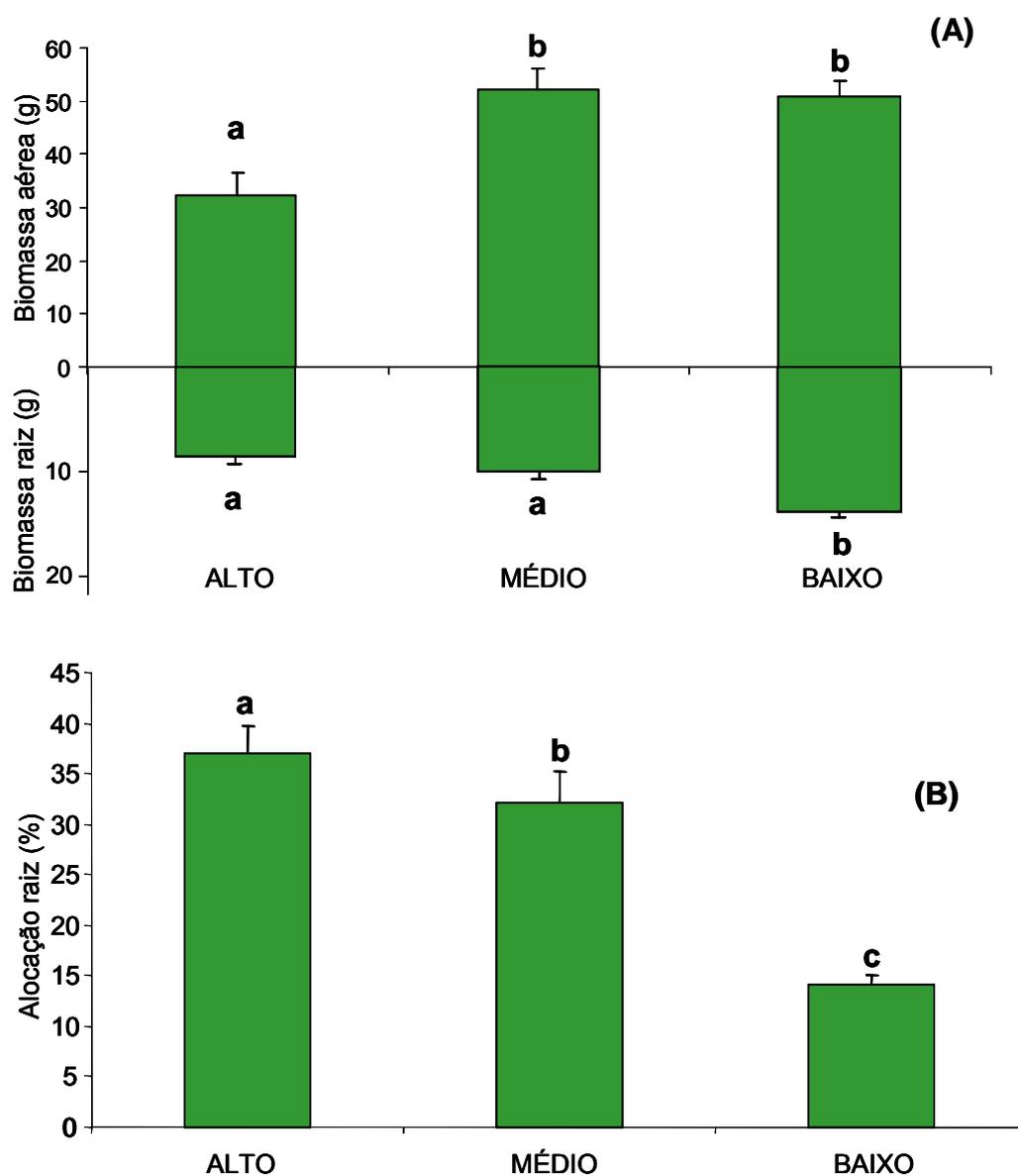


Figura 11: Biomassa seca aérea e das raízes (g) das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* cultivadas nos níveis alto, médio e baixo do canteiro (A). Os percentuais de alocação em biomassa subterrânea das plantas nos níveis alto, médio e baixo (B) também são apresentados. Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey.

Tabela 4: Análise de Variância para biomassa aérea e biomassa subterrânea das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* originadas de mudas de tamanho grande e pequeno, plantadas em três níveis de elevação no canteiro.

	Biomassa aérea				Biomassa subterrânea			
	gl	SQ	F	p	gl	SQ	F	p
Tamanho	1	0,0	0,4	>0,200	1	0,3	0,06	>0,20
Nível	2	1,4	8,2	<0,001	2	61,5	6,46	<0,05
Tamanho x nível	2	0,9	5,5	<0,001	2	16,7	1,75	>0,05
Erro	257	22,1			24	114,2		

Tabela 5: Análise de Variância para percentual de alocação em biomassa subterrânea e para percentual de investimento em estruturas reprodutivas das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* originadas de mudas de tamanho grande e pequeno, plantadas em três níveis de elevação no canteiro.

	Alocação em biomassa				Estruturas reprodutivas			
	gl	SQ	F	P	gl	SQ	F	p
Tamanho	1	0,0	0,5	>0,200	1	0,3	2,7	>0,05
Nível	2	0,8	14,3	<0,001	2	1,9	6,7	<0,01
Tamanho x nível	2	0,0	0,2	>0,200	2	0,5	1,9	>0,05
Erro	24	0,7			123	17,8		

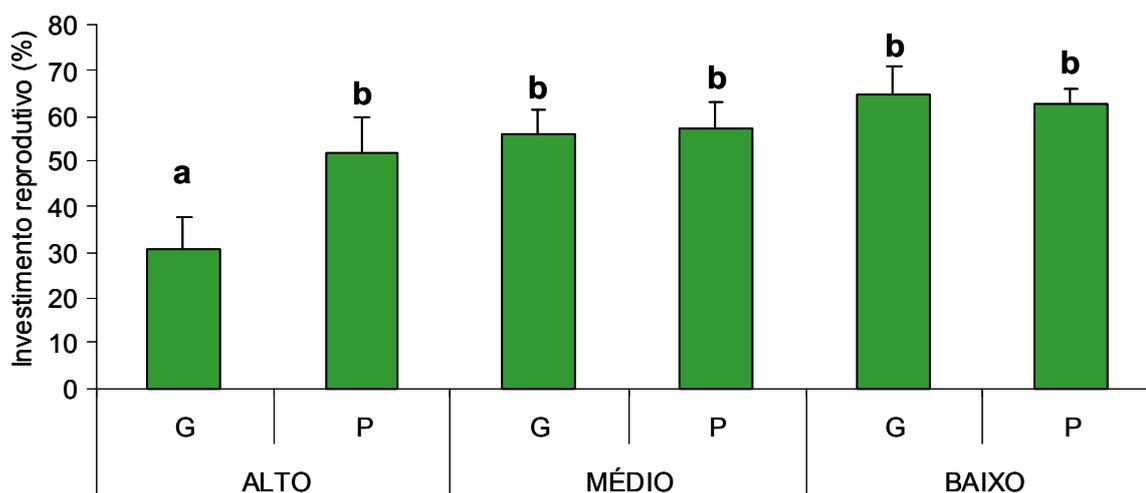


Figura 12: Percentual de investimento em estruturas reprodutivas (produção de segmentos reprodutivos na primeira ramificação do terço superior do caule) das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* originadas de mudas grandes (G) e pequenas (P) nos níveis alto, médio e baixo do canteiro. Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey.

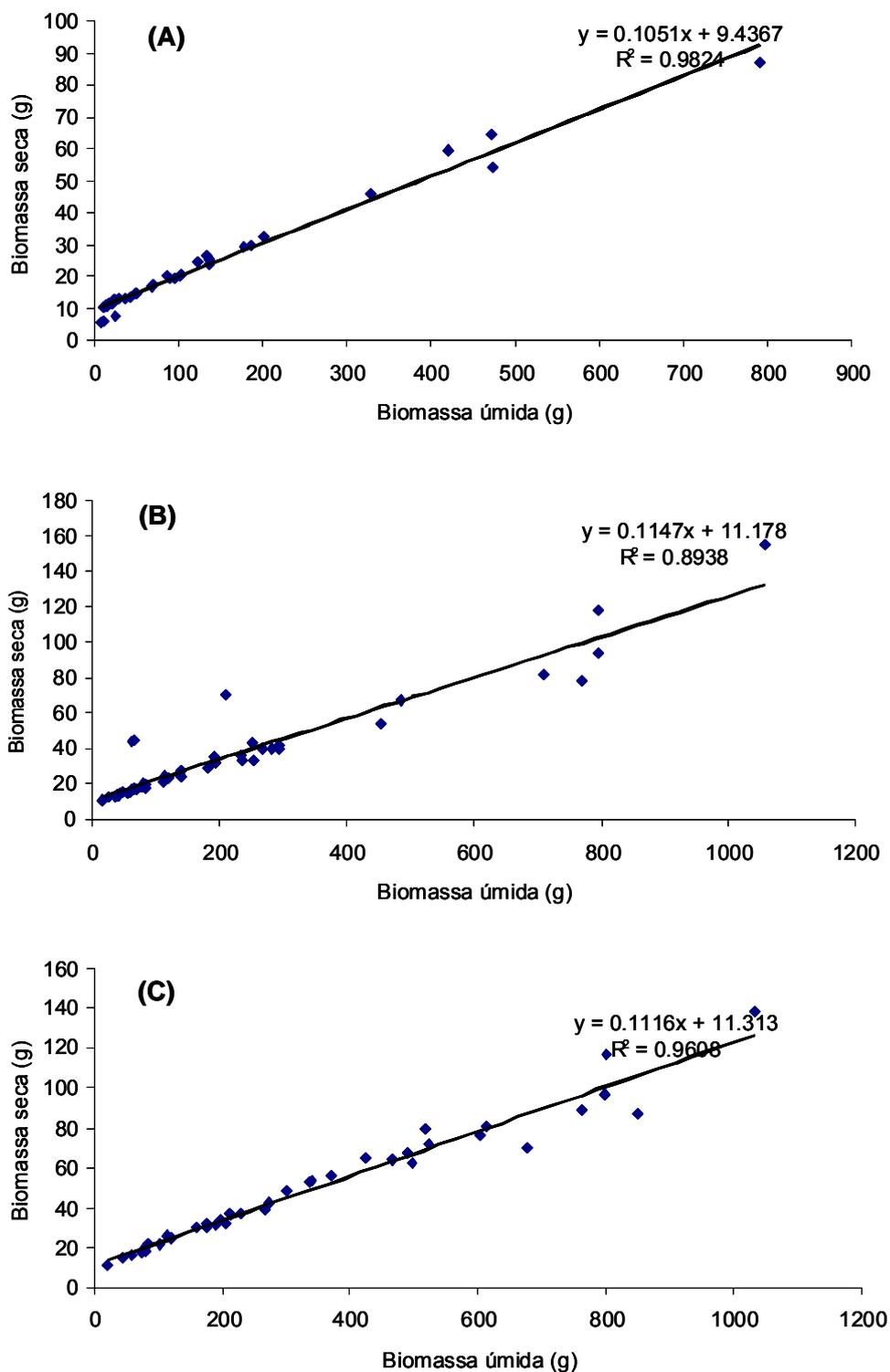


Figura 13: Regressões lineares entre biomassa seca e úmida de plantas de *Salicornia gaudichaudiana* cultivadas nos níveis alto (A), médio (B) e baixo (C) do canteiro.

### 3.5. Teores de N e P nos tecidos de *Salicornia*

Os caules de *Salicornia gaudichaudiana* apresentaram teores significativamente maiores de nitrogênio e fósforo do que as raízes (respectivamente,  $F_T = 265,09$  e  $p < 0,001$ ; e  $F_T = 60,87$  e  $p < 0,001$ ). A concentração média de nitrogênio nos tecidos aéreos foi  $17,86 \pm 0,60 \text{ g kg}^{-1}$  e nas raízes foi  $8,58 \pm 0,23 \text{ g kg}^{-1}$ . Para o fósforo, a média nos tecidos aéreos foi  $2,77 \pm 0,13 \text{ g kg}^{-1}$  e nos tecidos subterrâneos foi  $1,66 \pm 0,10 \text{ g kg}^{-1}$ . Não ocorreram diferenças significativas do teor de médio global de nitrogênio nos tecidos de *Salicornia* entre os níveis do canteiro ( $F_N = 0,55$ ;  $p > 0,05$ ; Tabela 7). Entretanto, o teor de fósforo nos tecidos variou entre os níveis do canteiro ( $F_N = 4,5$ ;  $p < 0,05$ ), mas de forma antagônica entre tecidos (interação tecido X nível significativa;  $F_{TxN} = 3,46$ ;  $p < 0,05$ ). O teor de fósforo do caule foi menor no nível baixo ( $p < 0,05$ ), enquanto nas raízes o menor valor médio foi observado no nível alto, apesar de não significativo (Testes de Tukey; Tabela 6).

### 3.6. Eficiência depuradora do efluente pelo canteiro

As concentrações médias de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e nitrogênio total, bem como concentração de fósforo como ortofosfato solúvel no efluente utilizado para irrigação do canteiro de *Salicornia gaudichaudiana* foram, respectivamente, de  $1,660 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $0,024 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $0,010 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $1,694 \text{ mg L}^{-1}$  e  $0,219 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabela 8). Ensaios efetuados ao longo do cultivo de *Salicornia* demonstraram que, após percorrer todo o canteiro, o efluente teve

uma redução média de 56% do amônio, 41% do nitrito, 23% do nitrato, 55% do nitrogênio total e 20% do ortofosfato.

As amostras do efluente de irrigação coletadas ao longo do experimento no horário das 17 horas foram comparadas por Análise de Variância bifatorial (Tabela 9). Nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo apresentaram valores médios significativamente menores na saída do canteiro do que na entrada (respectivamente,  $F_P = 9,89$ ,  $F_P = 9,62$ ,  $F_P = 12,70$ ; todos  $p < 0,01$ ). Para nitrito e nitrato, as diferenças das concentrações na entrada e na saída do canteiro não foram significativas ( $F_P = 2,25$  e  $p > 0,20$ ;  $F_P = 0,81$  e  $p > 0,10$ ). Quanto a variação temporal, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo tiveram maiores concentrações no dia 3 de março (respectivamente,  $F_D = 146,16$ ,  $F_D = 148,70$  e  $F_D = 211,30$ ; todos  $p < 0,001$ ) em relação aos dias 14 de fevereiro, 28 de março e 10 de abril. Nitrito apresentou uma diminuição na concentração no final do cultivo ( $F_D = 7,53$ ;  $p < 0,05$ ).

Nas duas datas quando foram coletadas as amostras de efluente nas quatro irrigações diárias, na entrada e saída do canteiro, a quantidade de nutrientes foi muito distinta. Análise de Variância trifatorial (tabela 10) demonstrou que nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e nitrato apresentaram valores médios significativamente menores na saída do canteiro do que na entrada (respectivamente,  $F_P = 24,61$  e  $p < 0,001$ ;  $F_P = 22,80$  e  $p < 0,001$ ;  $F_P = 6,93$  e  $p < 0,05$ ). O fósforo e o nitrito não apresentaram diferenças significativas entre seus valores médios de entrada e saída do canteiro ( $F_P = 0,52$  e  $p > 0,20$ ;  $F_P = 0,27$  e  $p > 0,20$ ). Fósforo e todos os nutrientes nitrogenados apresentaram valores significativamente maiores no dia 3 de março (fósforo,  $F_D = 63,73$ ; nitrogênio amoniacal,  $F_D = 341,07$ ; nitrito,  $F_D = 36,96$ ; nitrato,  $F_D = 40,79$ ;

nitrogênio total,  $F_D = 931,10$ ; para todos os testes  $p < 0,001$ ). Nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrogênio total variaram significativamente entre os quatro horários (respectivamente,  $F_H = 10,25$ ,  $F_H = 7,03$  e  $F_H = 17,74$ ; para todos  $p < 0,001$ ). A interação Passagem x Dia foi significativa para o nitrogênio amoniacal ( $F_{PxD} = 17,59$ ;  $p < 0,001$ ) e para o nitrogênio total ( $F_{PxD} = 11,80$ ;  $p < 0,001$ ), relacionada ao fato de no dia 3 de março a diferença entre as concentrações de entrada e saída resultou em uma remoção de 66% de amônio, enquanto no dia 10 de abril, sob menor teor médio deste nutriente, houve uma remoção de apenas 13%. A interação Passagem x Dia foi significativa para as baixas concentrações de nitrato ( $F_{PxD} = 8,04$ ;  $p < 0,001$ ), devido as concentrações na saída do canteiro serem 94,5% maiores do que na entrada no dia 03/03/2008, enquanto que no dia 10/04/2008 os valores médios não apresentaram diferenças significativas entre a entrada e a saída do canteiro.

Tabela 6: Teores médios de nitrogênio e fósforo no tecido de *Salicornia gaudichaudiana* irrigadas com efluente de um viveiro de camarão após 100 dias de cultivo. Diferentes letras minúsculas em cada coluna indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey.

	N	Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> )	Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )
<b>Biomassa aérea</b>			
Alto	5	18.75 ± 0.43 a	2.95 ± 0.18 a
Médio	5	17.80 ± 1.38 a	3.04 ± 0.25 a
Baixo	5	17.05 ± 1.16 a	2.30 ± 0.13 b
Total	15	17.86 ± 0.60	2.77 ± 0.14
<b>Biomassa subterrânea</b>			
Alto	5	8.65 ± 0.19 b	1.39 ± 0.19 b
Médio	5	8.40 ± 0.40 b	1.95 ± 0.12 b
Baixo	5	8.71 ± 0.60 b	1.65 ± 0.13 b
Total	15	8.59 ± 0.23	1.66 ± 0.10

Tabela 7: Análise de Variância dos teores médios de nitrogênio e fósforo nos tecidos (aéreo e subterrâneo) de plantas de *Salicornia gaudichaudiana* cultivadas em diferentes níveis do canteiro.

	Nitrogênio				Fósforo		
	gl	SQ	F	P	SQ	F	p
Tecido	1	0.754	265.09	0.00	9.207	60.87	0.000
Nível	2	0.003	0.55	0.58	1.361	4.50	0.021
Tecido*Nível	2	0.002	0.44	0.64	1.045	3.45	0.047
Erro	24	0.068			3.630		

Tabela 8: Concentrações médias de nutrientes do efluente de cultivo de camarão, utilizado para irrigar o canteiro de *Salicornia gaudichaudiana*.

	Amônio mg L <sup>-1</sup>	Nitrito mg L <sup>-1</sup>	Nitrato mg L <sup>-1</sup>	N total mg L <sup>-1</sup>	Ortofósforo mg L <sup>-1</sup>
Entrada	1,660	0,024	0,010	1,694	0,219
Saída	0,735	0,014	0,007	0,756	0,176
Diminuição (%)	55,74	41,08	23,08	55,34	19,66

Tabela 9: Análise de Variância para diferentes nutrientes presentes nas amostras de efluente utilizado para irrigar o canteiro de *Salicornia gaudichaudiana*. Amostras foram coletadas no mesmo horário (17 horas). Datas de amostragem e o efeito da passagem pelo canteiro (valores na entrada e saída) foram comparados.

Nutriente	Passagem		Dia		Passagem x Dia	
	F	p	F	p	F	p
Amônio	9,89	<0,01	146,16	<0,001	2,66	<0,01
Nitrito	2,25	>0,10	7,53	<0,050	2,37	>0,10
Nitrato	0,81	>0,10	2,34	>0,100	1,64	>0,10
N total	9,62	<0,01	148,70	<0,001	3,39	<0,05
Fosfato	12,70	<0,01	211,30	<0,001	8,09	<0,01

Tabela 10: Análise de Variância para diferentes nutrientes presentes nas amostras de efluente utilizado para irrigar o canteiro de *Salicornia gaudichaudiana*. Amostras foram coletadas em quatro horários diários. Datas de amostragem e o efeito da passagem pelo canteiro (valores na entrada e saída) foram comparados.

Nutriente	Passagem		Dia		Hora		Passagem x Dia		Passagem x Hora	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Amônio	24,6	<0,001	341,0	<0,001	10,2	<0,001	17,5	<0,001	1,5	<0,05
Nitrito	0,2	>0,200	36,9	<0,001	1,0	>0,200	0,0	>0,200	1,5	>0,20
Nitrato	6,9	<0,050	40,7	<0,001	7,0	<0,001	8,0	<0,010	4,1	<0,05
N total	22,8	<0,001	931,1	<0,001	17,7	<0,001	11,8	<0,001	2,3	>0,05
Fosfato	0,5	>0,200	63,7	<0,001	0,2	>0,200	2,8	>0,050	0,4	>0,20

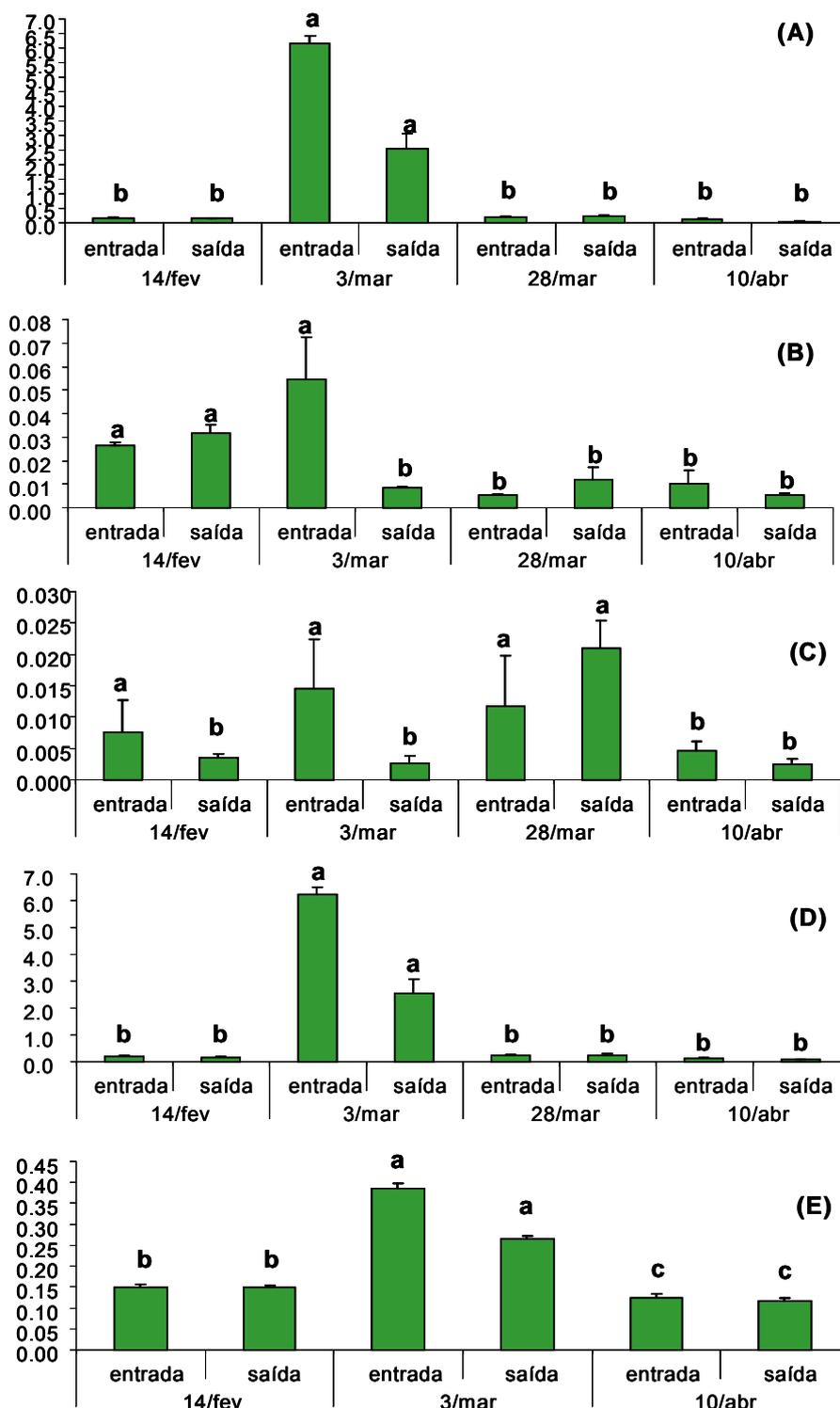


Figura 14: Concentrações médias de nitrogênio amoniacal (A), nitrito (B), nitrato (C), nitrogênio total (D) e fósforo (E) na entrada e na saída do canteiro ao longo do experimento. Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey. Os dados de fósforo do dia 28 de março foram excluídos das análises estatísticas, devido a contaminação das amostras durante a filtragem-conservação.

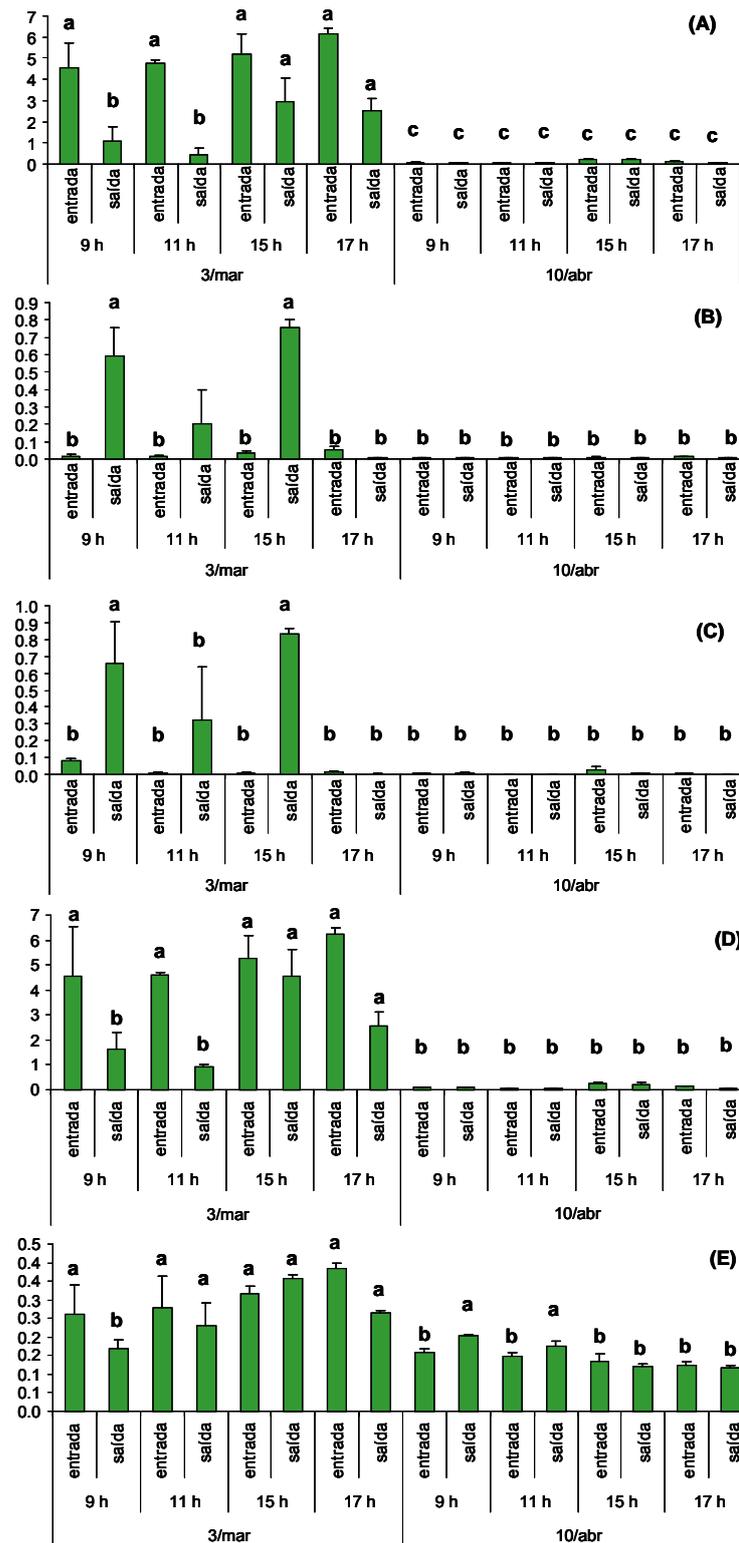


Figura 15: Concentrações médias de nitrogênio amoniacal (A), nitrito (B), nitrato (C), nitrogênio total (D) e fosfato (E) na entrada e na saída do canteiro, em duas datas com quatro horários de amostragem. Diferentes letras minúsculas em cada gráfico indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de contrastes múltiplos de Tukey.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Mortalidade e crescimento de *Salicornia gaudichaudiana*

A halófito costeira *Salicornia gaudichaudiana* demonstrou rápido crescimento e alcançou grandes biomassas individuais quando cultivada durante o verão no sul do Brasil, irrigada com efluente salino da carcinicultura. Além disso, esta espécie demonstrou capacidade de produzir sementes em safra de cerca de 100 dias.

A mortalidade de 25% das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* no presente estudo foi um pouco maior do que a mortalidade observada em cultivo semelhante realizado no estado do Ceará (16,3%; Costa 2006b). Estas taxas de mortalidades dos cultivos podem ser consideradas baixas em relação às de populações naturais de outras espécies do gênero, onde de cada 1000 sementes dispersadas apenas 1 ou 2 geram plantas adultas, sendo que 70-90 % da mortalidade está concentrada no período de estabelecimento (Ellison 1987, Costa 1992). Plântulas de *Salicornia* sofrem altas taxas de mortalidade independente da densidade, relacionada a perturbações pela maré, estresse salino e dessecação durante a maré baixa (Watkinson & Davy 1985, Davy *et al.* 2001).

As diferenças na mortalidade dos cultivos de *Salicornia gaudichaudiana* realizados no Brasil podem estar relacionadas aos diferentes tipos de solos dos locais de estudo e, conseqüentemente, a capacidade de retenção da água de irrigação. No Rio Grande do Sul, a mortalidade de mudas ocorreu nas primeiras semanas e principalmente no nível alto do canteiro, onde o sedimento arenoso pobre em matéria orgânica (cerca de 1%) demonstrou reter pouca umidade

(média 1,5% de água), enquanto no cultivo realizado no estado do Ceará (Costa 2006b), em um solo siltico-arenoso (63% siltes e argilas) e mais rico em matéria orgânica (7,3%), não ocorreram diferenças de mortalidade dentro do canteiro. No nível alto do canteiro, no presente estudo, os sulcos drenavam completamente poucos minutos após cada irrigação e a mortalidade foi marcadamente maior para mudas pequenas (65%) do que grandes (26%). Adicionalmente, no nível alto do canteiro, as plantas tiveram menor desenvolvimento, caracterizado por biomassa aérea e subterrânea, altura e número de ramificações significativamente menores do que as plantas do nível baixo. O cultivo de *Salicornia gaudichaudiana* objetivando retorno econômico ao cultivador de camarão pode ser iniciado com mudas de idade variando entre quatro e oito semanas; entretanto, mudas maiores (mais velhas) parecem oferecer a vantagem de menor mortalidade no período de estabelecimento, particularmente em locais com sedimentos arenosos de rápida drenagem. Noaman & El-Haddad (2000) estudando o efeito de diferentes volumes de irrigação sobre o crescimento de várias halófitas concluíram que o controle da umidade do sedimento é um dos mais importantes fatores para a produção eficiente de biomassa de plantas sob estresse salino. *Suaeda esteroa* (halófito da família Amaranthaceae) irrigada com efluente salino do cultivo de Tilápia demonstrou aumento significativo na biomassa das plantas cultivadas conforme o aumento do volume de irrigação (Brown & Glenn 1999).

A salinidade no sedimento não parece ter sido responsável pela mortalidade ou desenvolvimento diferenciado das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* entre os níveis do canteiro. O efluente salino do cultivo de camarão utilizado para irrigar o canteiro apresentou salinidade alta, entre 36 e 40 g NaCl L<sup>-1</sup>,

durante cerca de 70% do tempo. Entretanto, amostras do sedimento do canteiro apresentaram teores médios de sal de 10 g NaCl kg<sup>-1</sup> sedimento e valores máximos que não ultrapassaram 25 g NaCl kg<sup>-1</sup>. Adicionalmente, as maiores salinidades foram verificadas no nível baixo do canteiro, onde ocorreram as menores taxas de mortalidade e as plantas tiveram maior desenvolvimento. *Salicornia gaudichaudiana* já havia demonstrado alta tolerância à salinidade, pois o cultivo em canteiro no estado do Ceará alcançou teores máximos de sal no sedimento de 41-60 g NaCl kg<sup>-1</sup> (valores citados g NaCl L<sup>-1</sup> expressos em g NaCl kg<sup>-1</sup>; Costa 2006b), mas a mortalidade de plantas foi menor do que a observada no atual estudo. Em estudos em estufas sobre lisímetros, enquanto *Spartina* sp., *Distichlis palmeri*, *Paspalum vaginatum*, *Juncus roemerianus* e *Batis maritima* demonstraram bom crescimento em salinidades menores do que 20 g NaCl L<sup>-1</sup> (Noaman & El-Haddad 2000), as Amaranthaceae *Salicornia bigelovii*, *Suaeda esteroa* e *Atriplex barclayana* obtiveram bom desenvolvimento em salinidades de 35-40 g NaCl L<sup>-1</sup> (Glenn *et al.* 1997, Brown *et al.* 1999, Noaman & El-Haddad 2000). Plantas do gênero *Salicornia* têm sido apontadas entre as mais resistentes a altas salinidades (O'Leary *et al.* 1985, Glenn *et al.* 1999, Davy *et al.* 2001, Flowers 2004) e por isso altamente recomendadas para cultivo com água do mar pura ou irrigadas com efluentes salinos da aquicultura. *Salicornia bigelovii*, por exemplo, pode render tanta biomassa aérea quanto cultivos convencionais, mesmo crescendo em ambiente com salinidade intersticial de 70 g NaCl L<sup>-1</sup> (Glenn *et al.* 1999).

A produção média de 23,4 ± 4,0 ton ha<sup>-1</sup> de biomassa aérea fresca (peso fresco – PF) de *Salicornia gaudichaudiana* obtida após 3,3 meses de cultivo em

Rio Grande (RS) foi superior à alcançada em estudo semelhante no estado do Ceará (Costa *et al.* 2006;  $3,1 \pm 0,7$  ton PF ha<sup>-1</sup>). A biomassa aérea seca individual média obtida de  $47,38 \pm 2,17$  g foi também maior do que no Ceará, de  $8,6 \pm 0,4$  g. A maior produção de biomassa provavelmente esteve relacionada ao menor estresse salino no Rio Grande do Sul. Glenn *et al.* (1997) também relacionou maiores produções de *Salicornia bigelovii* com o aumento da frequência de irrigação e remoção do excesso de sal acumulado nos canteiros. Benes *et al.* (2005) cita produções de 6,4-12,4 ton PF ha<sup>-1</sup> para *Salicornia bigelovii*, cultivada com água de drenagem de fazendas (Califórnia, E.U.A; com salinidade  $9,3$  g NaCl L<sup>-1</sup> e  $N-NO_3 = 92,8$  mg L<sup>-1</sup>), sendo maiores produções observadas em anos mais chuvosos (plantação recebeu mais água e mais frequentemente). *Salicornia gaudichaudiana* demonstrou um desenvolvimento mais rápido e produção por safra semelhante a da espécie comercial do gênero *Salicornia bigelovii*. São necessários sete meses (200-210 dias) para *Salicornia bigelovii* crescer e produzir até de  $23,1$  ton PF ha<sup>-1</sup> em cultivos na costa pacífica dos E.U.A. e México (Glenn *et al.* 1997, Siordia-Grave *et al.* 2003). Mark (1994) *apud* Costa (2006b) cita uma produção máxima por safra de  $10$  ton PF ha<sup>-1</sup> para plantas de *Salicornia bigelovii* cultivadas com água do Golfo Árabe, na costa nordeste da Arábia Saudita. A produção de *Salicornia gaudichaudiana* também foi superior a produção de alguns cultivares aclimatados a solos salinizados do semiárido nordestino, como o sorgo sudão (Melo Júnior 1999), sorgo forrageiro (Oliveira *et al.* 2006) e a erva-sal (Porto *et al.* 2001; esta última alcança  $14,8$  ton PF ha<sup>-1</sup>). Adicionalmente, *Salicornia gaudichaudiana* demonstrou capacidade de se desenvolver e frutificar em solos com concentrações salinas muito superiores as que os cultivares citados acima

podem tolerar (somente 2 a 11 gNaCl L<sup>-1</sup>; cerca de 4-16 dS m<sup>-1</sup>)(Melo Júnior 1999, Oliveira *et al.* 2006, Porto *et al.* 2001).

O tamanho e o número de ramificações iniciais das mudas transplantadas para o canteiro de forma geral não influenciaram no desenvolvimento final das plantas. Tanto mudas pequenas quanto grandes resultaram em plantas vigorosas, altamente ramificadas. Este crescimento vigoroso de *Salicornia gaudichaudiana* no canteiro indicou que o espaçamento utilizado no plantio, de 15 cm, resultou em baixa competição intraespecífica. Isto porque vários estudos demonstraram uma marcada redução da biomassa, altura, diâmetro e número de ramificações de plantas de *Salicornia* com o aumento da densidade em monocultura (Watkinson & Davy 1985, Ellison 1987, Ellison & Niklas 1988, Costa 1992, Davy *et al.* 2001).

O maior desenvolvimento em biomassa de *Salicornia gaudichaudiana* nos níveis médio e baixo do canteiro foi acompanhado de um maior investimento em caules com mais estruturas reprodutivas. A fecundidade das plantas de *Salicornia* está diretamente correlacionada ao número de ramificações (Ellison & Niklas 1988) e biomassa aérea (Costa 1992), devido à localização apical dos segmentos reprodutivos nas ramificações da planta (Davy *et al.* 2001). Para as plantas de *Salicornia gaudichaudiana* cultivadas, o aumento no número médio de ramificações por planta de 40,5 para 69,9 (72%), entre as parcelas alta e baixa do canteiro, acarretou um incremento de 524 para 1688 segmentos reprodutivos por planta (222%), se estimarmos estes últimos números pela multiplicação dos números de ramificações pelo número de segmentos reprodutivos por ramificação. Estes resultados demonstram um ganho na produção de sementes (cada segmento reprodutivo pode potencialmente

produzir seis sementes) em uma escala potencial com um fator de 2,13 ( $r^2 = 0,9996$ ;  $n = 3$ ), com a melhora da umidade média do sedimento no canteiro de 1,5% (parcela alta) para 5% (parcela baixa). Estudos detalhados sobre os efeitos da frequência e tempo de irrigação na produção de sementes de *Salicornia gaudichaudiana* deverão ser realizados para viabilização econômica da extração de seus óleos poliinsaturados.

As plantas de *Salicornia gaudichaudiana* coletadas do canteiro em abril se encontravam em floração e/ou com sementes ainda imaturas, possivelmente devido ao plantio ter ocorrido em janeiro. Segundo Azevedo (2000), plantas de *Salicornia gaudichaudiana* nativas nas marismas do município de Rio Grande (RS) estabelecidas em agosto iniciam floração em fevereiro do ano seguinte, ou seja, após 180 dias, sendo que plantas maduras com sementes são observadas nas marismas locais apenas entre fevereiro e maio. Plantios de plântulas de *Salicornia gaudichaudiana* em diferentes datas ao longo da primavera e verão poderão definir uma melhor janela temporal de cultivo, de forma a viabilizar o menor tempo possível de crescimento para produção de sementes, bem como a possibilidade do desenvolvimento de mais de uma safra por ano no clima temperado do sul do Brasil.

Em contraste com os vários estudos de plasticidade fenotípica dos caules de *Salicornia*, pouco é conhecido sobre o investimento em biomassa subterrânea por estas plantas. As raízes das plantas de *Salicornia gaudichaudiana* cultivadas em Rio Grande apresentaram uma marcada plasticidade frente as diferentes condições dentro do canteiro. As plantas do nível alto apresentaram menor biomassa subterrânea média, mas um investimento duas a três vezes maior neste componente da biomassa do que

as plantas dos níveis médio e baixo. A redução da biomassa total com o aumento de alocação para a formação de raízes sugere uma tentativa desta espécie de *Salicornia* de manter sua aquisição de nutrientes sob estresse hídrico (Adam 1990) ou de minimizar as perdas de água por redução relativa de área foliar (Ungar 1987). Neves & Costa (2001) observaram que, em cultivos em potes, com sedimento drenado e irrigado periodicamente com soluções de 0 a 30 g NaCl L<sup>-1</sup>, *Salicornia gaudichaudiana* alocou em média 28-38% da biomassa total em raízes, valores próximos ao observado no piso alto do canteiro (37%). Bouma *et al.* (2001) argumentaram que nas plantas da família Amaranthaceae a importância relativa de raízes aumenta em pisos mais elevados na zona entremarés. Adicionalmente, segundo Boorman (2003), espécies de áreas elevadas de marismas, sob limitações de recursos devido ao menor suprimento de nutrientes pelas marés menos frequentes e mais interações competitivas, necessitam de uma alocação em raízes que permita aquisição mais eficiente destes recursos do solo.

#### 4.2. Teores de N e P no tecido de *Salicornia*

Os teores de nitrogênio nos caules de *Salicornia gaudichaudiana* no cultivo neste estudo (cerca de 18 g kg<sup>-1</sup>) foram superiores aos dos caules de plantas da mesma espécie em marismas salobras gaúchas (7,3 a 12,7 g kg<sup>-1</sup>; Costa 2006b). Entretanto, os teores de nitrogênio foram semelhantes a *Salicornia gaudichaudiana* cultivada com efluentes da carcinicultura no Ceará (17-19 g kg<sup>-1</sup>) e a *Salicornia bigelovii* cultivada na Califórnia com água de drenagem da agricultura (E.U.A.; 15,4-19,3 g kg<sup>-1</sup>; Benes *et al.* 2005). Os tecidos aéreos de *Salicornia gaudichaudiana* acumularam três vezes mais nitrogênio do que as

raízes. Maiores concentrações de nitrogênio nos caules do que nas raízes de plantas maduras, poderiam ser explicadas pela presença das sementes em desenvolvimento (Davy *et al.* 2001). Adicionalmente, Steward & Rhodes (1978) encontraram concentrações de glutamato sintetase muito mais altas nos caules do que nas raízes de Amaranthaceae de marismas (*Atriplex hastata* e *Suaeda maritima*), sugerindo que o caule é o principal sítio de assimilação de amônio nestas halófitas. O mesmo padrão fisiológico poderia ser apresentado por *Salicornia*.

As concentrações de nitrogênio nos tecidos dos caules e das raízes de *Salicornia gaudichaudiana* foram semelhantes entre os três níveis do canteiro, apesar do maior teor médio de sal no sedimento do nível baixo, que poderia induzir um acúmulo de compostos nitrogenados de pequeno peso molecular nas células de *Salicornia* para osmorregulação (Flowers 1985, 2004, Davy *et al.* 2001). Os maiores teores de nitrogênio nas plantas cultivadas de *Salicornia gaudichaudiana* do que nas de marismas, citados no parágrafo anterior, sugerem que esta espécie possa ter um mecanismo adaptativo de acúmulo deste elemento com o aumento da concentração de nitrogenados disponíveis. Este tipo de resposta foi observado em cultivos de outras espécies de *Salicornia* (Costa 1992, Costa *et al.* 2001) e explicaria ausência de diferenças espaciais no teor de nitrogênio no tecido, devido ao excesso de nitrogenados em todo canteiro durante o cultivo.

Os teores quantificados de fósforo nos caules das plantas cultivadas foram semelhantes aos observados em população natural de *Salicornia gaudichaudiana* (P total = 1,46 a 2,44 g kg<sup>-1</sup>; Costa 2006b), mas maiores do que os citados para *Salicornia bigelovii* cultivada com água de drenagem de

fazendas no Vale de San Joaquin (Califórnia, E.U.A), com teores médios de fósforo de 0,6-1,03 g kg<sup>-1</sup> (Benes *et al.* 2005), ou de plantas cultivadas na Arábia Saudita, que apresentaram valores de 0,8 a 1,4 g kg<sup>-1</sup> (Kraidees *et al.* 1988). A menor concentração de fósforo nos tecidos aéreos das plantas que cresceram no nível baixo, onde as plantas demonstraram maior crescimento, pode indicar um efeito de diluição. Menores concentrações de fósforo em caules de *Salicornia gaudichaudiana* com maior crescimento também foram observadas em plantas cultivadas no Ceará (Costa 2006b). A grande carga de nitrogenados no efluente da carcinicultura estimula a formação de biomassa, mas a menor disponibilidade de fósforo não possibilita manter a mesma relação N:P no tecidos. Quanto ao fósforo, Alsaedi & Elprince (2000) concluíram estudando *Salicornia bigelovii*, que a forma de nutrição de fósforo desta halófito não era diferente da observada para glicófitas, sendo que maiores valores de fósforo ocorrem em plântulas e decrescem com o amadurecimento e lignificação dos segmentos vegetativos. Estes mesmos autores estimaram para *Salicornia bigelovii*, em meio deficiente em fósforo salino (0,06-0,5 mg P L<sup>-1</sup>; 54 dS m<sup>-1</sup>), uma concentração crítica de fósforo no tecido foliar entre 0,48-0,65 g kg<sup>-1</sup> para caules semi-lignificados a verdes. Este valor de referência é muito menor do que os observados em *Salicornia gaudichaudiana*, bem como as plantas cultivadas no sul do Brasil não apresentaram necrose dos ápices ou forte coloração avermelhada das hastes, aspectos comuns em plantas deficientes de fósforo (Alsaedi & Elprince 2000). Conseqüentemente, os caules de *Salicornia gaudichaudiana* não apresentaram sintomas de deficiência nutricional, mas diferenças no teor de fósforo entre partes do canteiro podem sugerir limitação do crescimento por este nutriente.

Ao contrário dos caules, as raízes dos níveis médio e baixo do canteiro apresentaram teores de fósforo 18-40% maiores do que as do nível alto. Os poucos estudos sobre a mobilidade de fósforo em espécies de *Salicornia* demonstram respostas diferenciadas entre os tecidos aéreos e subterrâneos. Em experimento de adição de nutrientes em uma marisma, Boyer *et al.* (2001) encontraram que a adição de fósforo aumentou o teor deste elemento nas raízes de *Salicornia virginica*. Alsaeedi & Elprince (2000) demonstraram que *Salicornia bigelovii* aloca fósforo preferencialmente para o caule, particularmente para segmentos reprodutivos que apresentam intensa atividade metabólica. Sob condições deficitárias, teores duas a três vezes maiores de fósforo são encontrados nos caules do que nas raízes, enquanto em condições nutricionais adequadas ocorrem maiores valores absolutos, mas os teores são similares entre estes tecidos ou mesmo maiores nas raízes. Este padrão é parecido com o encontrado em *Salicornia gaudichauniana*, onde as concentrações de fósforo nas raízes variaram menos do que nos caules, bem como na parcela alta foi observada a maior diferença média entre tecidos (P caule 2,12 vezes maior do que o P raiz) e na parcela baixa a menor (1,39). Logo, o fósforo pode ter sido um fator limitante no desenvolvimento das plantas no cultivo em sedimento arenoso no sul do Brasil, sobretudo na parcela alta do canteiro.

#### 4.3. Depuração do efluente pelo canteiro de *Salicornia*

Os valores encontrados de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, nitrogênio total e fosfato foram, respectivamente, de 1,660 mg N L<sup>-1</sup>, 0,024 mg N L<sup>-1</sup>, 0,010 mg N L<sup>-1</sup>, 1,694 mg N L<sup>-1</sup> e 0,219 mg P L<sup>-1</sup>. Estes resultados apontam para uma alta relação nitrogênio amoniacal:nitrato no efluente que, segundo Figueiredo *et al.* (2005), aumenta com o uso de fertilização e maiores estocagens de camarão. Entretanto, considerando a alta densidade de estocagem do viveiro de captação do efluente (200 camarões por m<sup>2</sup>), os valores de nutrientes encontrados não foram muito diferentes de outros cultivos citados na literatura. Figueiredo *et al.* (2005) estudando carga de efluentes de fazendas de cultivo de *Litopenaeus vannamei* no Ceará, com densidades de estocagem de 28-40 camarões por m<sup>2</sup>, encontraram concentrações médias no efluente de 0,36-0,41 mg N L<sup>-1</sup> (máximo de despesca de 6,39 mg N L<sup>-1</sup>) de nitrogênio amoniacal e de 0,21-0,31 mg P L<sup>-1</sup> (máximo de despesca de 0,26 mg L<sup>-1</sup>) de nitrato. Costa *et al.* (2006b) em estudo realizado na mesma região do Ceará, mas com uma estocagem de apenas 10 camarões por m<sup>2</sup>, observaram maiores concentrações médias de efluentes, tanto de nitrogênio amoniacal (0,902 mg N L<sup>-1</sup>) como de nitrato (0,705 mg N L<sup>-1</sup>). Copertino *et al.* (2009) citam concentrações totais de nitrogenados inorgânicos de 0,714-0,840 mg N L<sup>-1</sup> para efluentes de um viveiro com estocagem de 25 camarões por m<sup>2</sup> do Estuário da Lagoa dos Patos (RS), sendo que o nitrogênio amoniacal e o nitrato contribuíram, respectivamente, com 90,6% e 8% do nitrogênio inorgânico total. Adicionalmente, são citadas concentrações médias de fósforo no efluente da carcinicultura de 0,23-0,36 mg P L<sup>-1</sup> (fosforo total) e 0,19 mg P L<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> (ortofosfato) e menores que 0,07 mg P L<sup>-1</sup> (ortofosfato), respectivamente, por Figueiredo *et al.* (2005), Costa *et al.* (2006b) e Copertino *et al.* (2009).

Comparando os resultados dos teores de nutrientes utilizados no cultivo de *Salicornia* com a Resolução Conama 357/05 (BRASIL 2005b), as concentrações de nitrogênio amoniacal e fosfato no efluente foram superiores ao limite estabelecido por esta resolução, respectivamente, 0,40 mg N L<sup>-1</sup> e 0,124 mg P L<sup>-1</sup>. Nitrito e nitrato do efluente estiveram em concentrações inferiores às estabelecidas pela resolução, respectivamente 0,40 mg N L<sup>-1</sup> e 0,07 mg N L<sup>-1</sup>.

Após passagem pelo canteiro de *Salicornia gaudichaudiana*, o efluente da carcinocultura teve uma redução média de 56% do nitrogênio amoniacal, 41% do nitrito, 23% do nitrato e 20% do ortofosfato. A eficiência de redução dos nitrogenados (Tabela 11) foi melhor do que a de tanques de sedimentação com dois dias de tempo de residência (diminuição de 23% no nitrogênio total; Jackson *et al.* 2003 *apud* Costa 2006b), semelhante a canteiro-filtro de *Salicornia gaudichaudiana* em região tropical na costa do Ceará (redução de 42,9% no nitrogênio amoniacal e 54,0% no nitrato; Costa *et al.* 2006b) e menor do que sistemas experimentais utilizando a algas bentônicas e ostras para depuração do efluente (diminuição de 76% no nitrogênio amoniacal e 30% no nitrato segundo Jones *et al.* 2001; e de 70 a 82% do nitrogênio amoniacal por Copertino *et al.* 2009). Já a ação depuradora da passagem do efluente pelo canteiro-filtro de *Salicornia gaudichaudiana* sobre o fósforo foi menor do que as observadas em todos os sistemas citados anteriormente (diminuição de 35% no fósforo total, Jackson *et al.* 2003; 35% no ortofosfato, Jones *et al.* 2001; 50% no ortofosfato, Copertino *et al.* 2009; e 66,7% no ortofosfato, Costa *et al.*

2006b). Valores experimentais excepcionalmente altos de depuração foram encontrados por Brown *et al.* (1999) para *Salicornia bigelovii* cultivada em potes com 25 kg de areia, que removeram do lixiviado 94% do nitrogênio inorgânico total e 97% do fósforo solúvel. Segundo estes autores, apesar da alta eficiência do sistema solo-*Salicornia* apenas 21% do nitrogênio foi incorporados a biomassa das plantas e a maior parte do nitrogênio foi incorporada ao sedimento ou volatilizada ou denitrificada (via nitrogênio amoniacal).

Tabela 11: Diferenças percentuais nas concentrações de nutrientes entre a entrada e a saída do cultivo (valores máximos). A letra ao lado do dado percentual indica remoção (R) ou aumento (A).

	Amônio	Nitrito	Nitrato	N total	Fosfato
<i>S. gaudichaudiana</i> - este estudo	56% R	41% R	23% R	55% R	19% R
<i>S. gaudichaudiana</i> Costa <i>et al.</i> (2006)	42,9% R	61,5% A	54% R	-	66,7% R
<i>S. bigelovii</i> Brown <i>et al.</i> (1999)	-	-	-	99% R	99% R
Diversas <i>sp.</i> halófitas Schwartz & Boyd 1995	81% R	98% R	75% R	61% R	84% R

A análise das passagens de efluente pelo canteiro demonstrou uma grande variação temporal da qualidade do efluente e da eficiência de depuração. Chuvas localizadas acarretaram em uma marcada redução da salinidade entre 14 e 15 de março de 2008, diluindo os nitrogenados. O canteiro de *Salicornia gaudichaudiana* demonstrou ser mais eficiente na remoção de nitrogenados quando altas concentrações de nitrogênio amoniacal compunham o efluente. Estas diferenças temporais não parecem estar relacionadas à capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas no canteiro, uma vez que maiores biomassas vegetais estavam presentes justamente quando as taxas de

depuração foram mais baixas. Novos estudos devem ser realizados para estudar a afinidade de absorção de nitrogenados por *Salicornia gaudichaudiana*, bem como para esclarecer como esta planta e os microorganismos associados na sua rizosfera respondem a mudanças na qualidade do efluente.

O canteiro-filtro de *Salicornia* não só melhora a qualidade do efluente da carcinicultura que passa por ele, mas também reduz o volume de efluente através da evapotranspiração das plantas. Considerando as concentrações médias acima citadas dos macronutrientes, e o preenchimento dos sulcos do canteiro quatro vezes por dia (manejo estático do efluente), um projeto de um hectare poderia remover ao longo de uma safra de 100 dias 66,4 kg N de nitrogênio amoniacal, 0,96 kg N de nitrato e 7,7 kg P de ortofosfato. Considerando somente os teores médios de N e P nos caules e raízes de *Salicornia gaudichaudiana*, bem como a produção de biomassa por safra, a incorporação de nutrientes no tecido vegetal poderia explicar 79,7% do nitrogênio e apenas 1,6% do fósforo introduzidos no canteiro pela irrigação com efluente. Estas estimativas não consideram a carga de nutrientes no sedimento do canteiro, a lixiviação e nem os processos bacterianos que influenciam o ciclo do nitrogênio. Certamente a lixiviação para o freático, devido às chuvas durante o cultivo, foi um processo muito importante, uma vez que não foi observado um grande acúmulo de sal no sedimento superficial, mesmo toda água de preenchimento dos sulcos tendo sido drenada entre irrigações. *Salicornia gaudichaudiana* demonstrou um rápido incremento de biomassa quando irrigada com efluente salino, nas condições climáticas do verão no extremo sul do Brasil, além de capacidade de assimilação de nutrientes

gerados pela carcinicultura. Estudos complementares de produção de *Salicornia gaudichaudiana* com diferentes sistemas de irrigação de efluente deveriam ser testados.

## 5. REFERÊNCIAS

ADAM, P. 1990. Salt Marsh Ecology. Cambridge, Cambridge University Press, 461p.

ALLEN, SE, HM GRIMSHAW, JA PARKINSON, C QUARMBY & JD ROBERTS. 1976. Chemical analysis. In Chapman, SB (ed). Methods in Plant Ecology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 411-466.

ALONSO, MA & MB CRESPO. 2008. Taxonomic and nomenclatural notes on South American taxa of *Sarcocornia* A. J. Scott (Chenopodiaceae). *Ann. Bot. Fennici*, 45: 241-254.

ALSAEEDI, AH & AM ELPRINCE, 2000. Critical Phosphorus Levels for *Salicornia* Growth. *Agronomy Journal*, 92: 336-345.

AUGUSTO-RUIZ, W, L. LEPSSEN & VOC CONCHA. 2000. Caracterização da fração mineral das sementes e talos da *Salicornia gaudichaudiana* Mog. In: Resumos do Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - XV CRICTE, Rio Grande, RS. CD-ROM.

AZEVEDO, AMG. 2000. Hábitats, Associações Vegetais e Fenologia das Plantas das Marismas da Ilha da Pólvora, Estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). Tese de Mestrado. Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica/FURG.

BAUMGARTEN, MGZ, LFH NIENCHESKI & KN KUROSHIMA. 1995. Qualidade das águas estuarinas que margeiam o município de Rio Grande (RS – Brasil): nutrientes e detergente dissolvidos. *Atlântica*, 17: 17-34.

BAUMGARTEN, MGZ, JMB ROCHA, LFH NIENCHESKI. 1996. Manual de análises em oceanografia química. Ed. FURG. 143 p.

BENES, SE, PH ROBINSON AND SR GRATTAN. 2005. Cultivation of Halophytes to Reduce Drainage Volumes on the Westside San Joaquin Valley of California. Final Report to: The California State University Agricultural Research Initiative (CSU-ARI). 18 October, 2005. 10 pp. [<http://cast.csufresno.edu/faculty/sbenes/research.htm>]

BOORMAN, LA. 2003. Saltmarsh Review. An overview of coastal saltmarshes, their dynamic and sensitivity characteristics for conservation and management. *JNCC Report*, No. 334.

BOUMA, TJ, KL NIELSEN, J VAN HAL & B KOUTSTAAL. 2001. Root system topology and diameter distribution of species from habitats differing in inundation frequency. *Functional Ecology*, 15: 360-369.

BOYD, CE. 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture*, 226: 101-112.

BOYER, KE, P FONG, RR VANCE & RF AMBROSE. 2001. *Salicornia virginica* in a southern California saltmarsh: seasonal patterns and a nutrient-enrichment experiment. *Wetlands*, 21(3): 315-326.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 2002. Resolução nº 312 de 10 de outubro de 2002. Disponível em: [<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=334>] Acessado em: 04/02/2009.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2005a. Estatística da Aqüicultura e Pesca no Brasil - Ano 2005. Disponível em: [[http://www.presidencia.gov.br/estrutura\\_presidencia/seap/estatistica/](http://www.presidencia.gov.br/estrutura_presidencia/seap/estatistica/)]. Acessado em: 04/02/2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 2005b. Resolução nº 357/05. Disponível em [[www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf)]. Acessado em: 04/02/2009.

BROWN, JJ, EP GLENN, KM FITZSIMMONS & SE SMITH. 1999. Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. *Aquaculture*, 175: 255-268.

BROWN, JJ & EP GLENN. 1999. Reuse of highly saline aquaculture effluent to irrigate a potential forage halophyte, *Suaeda esteroa*. *Aquacultural Engineering*, 20: 91-111

COELHO JR., C. & NOVELLI, YS. 2003. Considerações teóricas e práticas sobre o impacto da carcinicultura sobre os ecossistemas costeiros brasileiros, com ênfase no ecossistema manguezal. Disponível em: [[http://arruda.rits.org.br/oeco/reading/oeco/reading/pdf/impacto\\_manguezal.pdf](http://arruda.rits.org.br/oeco/reading/oeco/reading/pdf/impacto_manguezal.pdf)]. Acessado em: 04/02/2009

CONCHA, VOC, L IEPSSEN, W AUGUSTO-RUIZ. 2000. Caracterização de talos e sementes da *Salicornia gaudichaudiana* Mog. In: Resumos do Congresso de Iniciação Científica - CIC/CNPq, Pelotas, RS: 143.

COSTA, CSB. 1992. Competition and coexistence in the salt marsh annuals *Suaeda maritima* and *Salicornia europaea*. Tese de Doutorado. University of East Anglia, ANGLIA, Inglaterra. 311p.

COSTA, CSB. 1997. Tidal marsh and wetland plants. In: SEELIGER, U, C. ODEBRECHT & J.P. CASTELLO (eds.). Subtropical Convergence

Environments: the Coast and Sea in the Southwestern Atlantic Springer-Verlag, Berlin, Chapter 4.4: 24-26.

COSTA, CSB. 1998. Plantas de Marismas e Terras Alagáveis. In: SEELIGER, U, C ODEBRECHT & JP CASTELLO (Eds.). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Editora Ecoscientia, Rio Grande, 25-29.

COSTA, CSB. 2006a. A *Salicornia*: uma planta que pode ser usada no cultivo integrado com o camarão. *Panorama da Aquicultura*, novembro/dezembro: 28-33.

COSTA, CSB. 2006b (Org.). Cultivo Integrado Camarão-*Salicornia*: Redução da Emissão e Retorno Econômico do Efluente de Viveiros. Relatório Final de Projeto de Pesquisa - Edital MCT/CNPq/CT-Agronegócios 02/2003. Rio Grande, Nov. 2006.

COSTA, CSB, R ARMSTRONG, Y DETRÉS, EW KOCH, M BERTILLER, A BEESKOW, LS NEVES, GM TOURN, OA BIANCIOTTO, LB PINEDO, AY BLESSIO & N SAN ROMAN. 2006b. Effect of Ultraviolet-B Radiation on Salt Marsh Vegetation: Trends of the Genus *Salicornia* along the Americas. *Photochemistry and Photobiology*, 82(4): 878-886.

COSTA, CSB, OH BONILLA, TCV GESTEIRA, JA PEREIRA, FYM DE SOUZA, MS LEITE, CC CARVALHO, FJ ANDRADE & W AUGUSTO-RUIZ. 2006a. Produção de biomassa da halófito *Salicornia gaudichaudiana* irrigada com efluente de viveiro do camarão *Litopenaeus vannamei* no litoral do Ceará. Resumos Expandidos do I Simpósio sobre Biomas Costeiros e Marinhas, Salvador, Bahia. CD/ROM.

COSTA, CSB & AJ DAVY. 1992. Coastal saltmarsh communities of Latin America. In: Seeliger, U. (ed.). Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press, New York: 179-199.

COSTA, CSB & LS NEVES. 2006. Respostas cromáticas de *Salicornia gaudichaudiana* Moq. (Chenopodiaceae) a diferentes níveis de radiação UV-B e salinidade. *Atlântica*, 28(1): 25-31.

DAVY, AJ, F BISHOP & CSB COSTA. 2001. *Salicornia* L. (*Salicornia pusilla* J. Woods, *S. ramosissima* J. Woods, *S. europaea* L., *S. obscura* P.W. Ball & Tutin, *S. nitens* P.W. Ball & Tutin, *S. fragilis* P.W. Ball & Tutin and *S. dolichostachya* Moss). In: Biological Flora of The British Isles. *Journal of Ecology*, 89: 681-707.

DICKERSON, M. 2008. Letting the sea cultivate the land. *Business News Americas, Lo Angeles Times – Business section*, July 10, p. A 1.

EL-HADDAD, EH & MM NOAMAN. 2001. Leaching requirement and salinity threshold for the yield and agronomic characteristics of halophytes under salt stress. *Journal of Arid Environments*, 49: 865-874.

- ELLISON, AM. 1987. Density-dependent dynamics of *Salicornia europaea* monocultures. *Ecology*, 68: 737-741.
- ELLISON, AM & KJ NIKLAS. 1988. Branching patterns of *Salicornia europaea* (Chenopodiaceae) at different successional stages: a comparison of theoretical and real plants. *American Journal of Botany*, 75(4): 501-512.
- EPAGRI 2008. Panicêutico – Você sabe o que significa? *Agropec. Catarin.*,21(2): 13.
- FEPAM. 2009. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS [<http://www.fepam.rs.gov.br/>] Consulta Licenciamento Ambiental, acessado em: 04/02/2009.
- FIGUEIREDO, M.C.B., ARAÚJO, L.F.P., GOMES, R.B., ROSA, M.F., PAULINO, W.D. & MORAIS, L.F.S. 2005. Impactos ambientais do lançamento de efluentes da carcinicultura em águas interiores. *Eng. sanit. ambient.*, 10(2): 167-174.
- FLOWERS, TJ. 1985. Physiology of halophytes. *Plant and Soil*, 89: 41-56.
- FLOWERS, TJ. 2004. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55(396): 307-319.
- GAA (Global Aquaculture Alliance). 2001. Individual Codes of Practice: Effluents and Solids Wastes. Disponível em: [<http://www.gaalliance.org/code8.html>]. Acessado em: 04/02/2009.
- GALLAGHER, JL. 1985. Halophytic crops for cultivation at seawater salinity. *Plant and Soil*, 89: 323-336.
- GLENN, EP & JW O'LEARY. 1985. Productivity and irrigation requirements of halophytes grown with seawater in the Sonoran Desert. *J. Arid Environ.*, 9: 81-91.
- GLENN, EP, JW O'LEARY, MC WATSON, TL THOMPSON & RO KUEHL. 1991. *Salicornia bigelovii* Torr.: an oilseed halophyte for seawater irrigation. *Science*, 251: 1065-1067.
- GLENN, EP, CN HODGES, H LIETH, R PIELKE & L PITELKA. 1992. Growing Halophytes to Remove Carbon from the Atmosphere. *Environment*, 34: 40-43.
- GLENN, E, S MIYAMOTO, D MOORE, JJ BROWN, TL THOMPSON & P BROWN. 1997. Water requirements for cultivating *Salicornia bigelovii* Torr. with seawater on sand in a coastal desert environment. *Journal of Arid Environments*, 36: 711-730.
- GLENN, EP, JJ BROWN & JW O'LEARY. 1998. Irrigating Crops with Seawater. *Scientific American*, 279: 76-81.

GLENN, EP, R TANNER, S MIYAMOTO, K FITZSIMMONS & J BOYER. 1998(b). Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grown on saline waste water in a desert environment. *Journal of Arid Environments*, 38: 45-62.

GLENN, EP, JJ BROWN & E BLUMWALD. 1999. Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(2): 227-255.

HAMMER, DA. 1992. Designing constructed wetlands systems to treat agricultural nonpoint source pollution. *Ecol. Eng.*, 1: 49-82.

HODGES, CN, TL THOMPSON, JJ RILEY & EP GLENN. 1993. Reversing the flow: water and nutrients from the sea to the land. *Ambio*, 22(7): 483-490.

ISACCH, JP, CSB COSTA, L RODRÍGUEZ-GALLEGO, D CONDE, M ESCAPA, DA GAGLIARDINI & OO IRIBARNE. 2006. Distribution of saltmarsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the south-west Atlantic coast. *Journal of Biogeography*, 33: 888-900.

JONES, AB, WC DENNISON & NP PRESTON. 2001. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture*, 193: 155-178.

KINNE, PN, TM SAMOCHA, ER JONES & CL BROWDY. 2001. Characterization of intensive shrimp pond effluent and preliminary studies on biofiltration. *North American Journal of Aquaculture*, 63: 25-33.

JACKSON, C.J., PRESTON, N., BURFORD, M.A. & THOMPSON, P.J. 2003. Managing the development of sustainable shrimp farming in Australia: the role of sedimentation ponds in treatment of farm discharge water. *Aquaculture*, 226: 23-34.

JONES, A.B., DENNISON, W.C. & PRESTON, N.P. 2001. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture*, 193: 155-178.

KRAIDEES, MS, MA ABOUHEIF, MY AL-SAIADY, A TAG-ELDIN, & H METWALLY. 1998. The effect of dietary inclusion of halophyte *Salicornia bigelovii* Torr on growth performance and carcass characteristics of lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 76: 149-159.

LEITE, MS, FJA BARROS, SH KHOURY, OH BONILLA & CSB COSTA. 2007. Cultivo de Plântulas de *Salicornia gaudichaudiana* Moq. para uso em Bioremediação junto a Viveiros de Criação de Camarão. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(1): 297-299.

LOPES, MF. 2000. Germinação de *Salicornia gaudichaudiana* Moq. em diferentes condições de temperatura e salinidade. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanologia). Rio Grande, FURG.

LYMBERY, AJ, RG DOUPÉ, T BENNET & MR STARCEVICH. 2006. Efficacy of a subsurface-flow wetland using the estuarine sedge *Juncus kraussii* to treat effluent from inland saline aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 34: 1-7.

MELO JÚNIOR, SV de. 1999. Seleção e avaliação de genótipos de sorgo Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) para cultivo em solo salino. Dissertação de Mestrado. Recife: UFRPE, 69p.

MENEZES, LFT & AL PEIXOTO. 2000. A riqueza ameaçada dos mangues. *Ciência Hoje*, março de 2000: 63-67.

MIYAMOTO, S, EP GLENN & MW OLSEN. 1996. Growth, water use and salt uptake of four halophytes irrigated with highly saline water. *Journal of Arid Environments*, 32: 141-159.

NEORI, A, MD KROM, SP ELLNER, CE BOYD, D POPPER, R RABINOVITCH, PJ DAVIDSON, O DIRV, D ZUBER, M UCKO, D ANGEL & H GORDIN. 1996. Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units. *Aquaculture* 141: 183-199.

NEVES, LS & CSB COSTA. 2001. Crescimento de *Salicornia gaudichaudiana* Mog. em diferentes condições de salinidade. In: *Anais da XIV Semana Nacional de Oceanografia*, Rio Grande: CALO/FURG. CDROM pub. 033.

NOAMAN, MN & E EL-HADDAD. 2000. Effects of irrigation water salinity and leaching fraction on the growth of six halophyte species. *Journal of Agricultural Science*, 135: 279-285.

O'LEARY, JW, EP GLENN & MC WATSON. 1985. Agricultural production of halophytes irrigated with seawater. *Plant and Soil*, 89: 311-321.

OLIVEIRA, LAA, LP BARRETO, E BEZERRA NETO, MVF SANTOS & JCA COSTA. 2006. Solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob estresse salino. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 41(1): 31-35.

PÁEZ-OSUNA, F, SR GUERRERO-GALVÁN & AC RUIZ-FERNANDEZ. 1998. The Environmental Impact of Shrimp Aquaculture and the Coastal Pollution in Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 36: 65-75.

PÁEZ-OSUNA, F. 2001. The environmental impact of shrimp aquaculture: a global perspective. *Environmental Pollution*, 112 (2): 229-231.

PANHWAR, MH & FH PANHWAR. 1995. DAWN - Newspaper's Economic & Business Review, May 27-June 2, P III (Agriculture and Technology).

PEIXOTO, S, W WASIELESKY, RO CAVALLI, MH SILVASANTOS, L POERSCH. 2005. Diretrizes para o desenvolvimento responsável da carcinicultura na região do estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Gestão Costeira Integrada*, Itajaí (SC) - UNIVALI, v. 4, p. 1-4.

PHILLIPS, MJ. 1995. Aquaculture and the environment – striking a balance. In: NAMBIAR, KPP & T SINGH (Eds.). International Conference on Aquaculture: Aquaculture Towards the 21st Century. Infofish, Kuala Lumpur, pp. 26-55

PRIMAVERA, JH. 2006. Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone. *Ocean & Coastal Management*, 49: 531-545.

POERSH, L, RO CAVALLI, WJ WASIELESKY, JP CASTELLO & SEM PEIXOTO. 2006. Perspectivas para o desenvolvimento dos cultivos de camarões marinhos no estuário da Lagoa dos Patos, RS. *Ciência Rural*, 36(4): 1337-1343.

PORTO, ER, MCC DE AMORIM & LGA SILVA JR. 2001. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5(1): 111-114.

QUAN, WM, JD HAN, AL SHEN, XY PING, PL QIAN, CJ LI, LY SHI & YQ CHEN. 2007. Uptake and distribution of N, P and heavy metals in three dominant salt marsh macrophytes from Yantze River estuary, China. *Marine Environmental Research*, 64: 21-37.

ROCHA, IP. 2003. Interesses contrariados estão “motivando” a campanha contra o crescimento do camarão cultivado no Brasil. *Revista da ABCC*, Março de 2003.

ROCHA, IP. 2008. Desempenho da carcinicultura brasileira em 2007: desafios e oportunidades para 2008. *Revista da ABCC*, Março de 2008.

RUEDA-PUENTE, E, T CASTELLANOS, E TROYO-DIÉGUEZ, JL DÍAZ DE LÉON-ALVAREZ & B MURILLO-AMADOR. 2003. Effects of a Nitrogen-Fixing Indigenous Bacterium (*Klebsiella pneumoniae*) on the Growth and Development of the Halophyte *Salicornia bigelovii* as a New Crop for Saline Environments. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189 (5), 323–332.

SCHWARTZ, MF & CE BOYD. 1995. Constructed wetlands for treatment of channel catfish pond effluents. *Prog. Fish-Cult.*, 57: 255-266.

SHPIGEL, M & A NEORI. 1996. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: I. Proportions of size and projected revenues. *Aquacult. Eng.* 15: 313–326.

SIORDIA-GRAVE, MA, R SOSA-PÉREZ. 2003. *Salicornia pacifica*: una alternativa energética sustentable. In: Annals of The International Seminar on Bioenergy and Sustainable Rural Development (Masera, O., Ed.). 26-28 June 2003. Morelia (Michoacán, México), Centro de Investigaciones en Ecosistemas/Food and Agriculture Organization of the United Nations.

SOMERS, GF. 1982. Food and economic plants: general review. In: Pietro, AS (Ed.). Biosaline Research: a look to. Plenum Publishing Corporation, New York: 127-147.

SOUZA-FILHO, PWM., & WR PARADELLA. 2002. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. *Wetlands Ecology and Management*, 10: 123–132.

STEWART, G.R. AND RHODES, D. 1978. Nitrogen metabolism of halophytes III. Enzymes of ammonia assimilation. *New Phytologist*, 80: 307-316.

TROELL, M, C HALLING, A NEORI, T CHOPIN, AH BUSCHMANN, N KAUTSKY, C YARISH. 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture*, 226: 69-90.

UNGAR, I.A. 1987. Population characteristics, growth, and survival of the halophyte *Salicornia europaea*. *Ecology*, 68 (3): 569-575.

VIÊGAS, CV, MGM D'OCA, JA MOÓRON-VILLAREYES & CSB COSTA. 2007. Extração de lipídeos da halófita costeira *Salicornia gaudichaudiana* Moq. In: Resumos da XIX Semana Nacional de Oceanografia (SNO 2007). Rio Grande, CALO-FURG, p. 269. (CD-ROM).

WATKINSON, AR & AJ DAVY. 1985. Population biology of saltmarsh and sand dune annuals. *Vegetatio*, 62: 487-497.

ZAR, JH. 1984. Biostatistical Analysis. New York: Prentice-Hall Inc., 718 p.

ZHAO, GM, ZP LIU, MD CHEN, WF KOU. 2006. Effect of Saline Aquaculture Effluent on Salt-Tolerant Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a Semi-Arid Coastal Area of China. *Pedosphere*, 16 (6): 762-769.