

TOLERÂNCIA À SALINIDADE DO CAPIM-ARAME (PASPALUM VAGINATUM SW.) SOB DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO SUL DO BRASIL.

Luis Ghiraldeli¹, Manuel Macedo de Souza², César Serra Bonifácio Costa³

RESUMO: Halófitas possuem capacidade de crescer e completar seu ciclo de vida em um ambiente com elevadas concentrações de sais. A grama perene *Paspalum vaginatum* Sw. tem distribuição mundial e ocorre em marismas, manguezais e dunas costeiras ao longo de toda costa brasileira. Espécimes de *P. vaginatum* coletados de um plano hipersalino no município de Caravelas (BA) tiveram sua tolerância à salinidade avaliada. Foram realizados dois experimentos em sistema hidropônico (solução Hoagland) em estufa não climatizada, permitindo considerar o efeito da sazonalidade (*i.e.* variação de temperatura e radiação solar incidente) no sul do Brasil nas respostas do *P. vaginatum* ao estresse salino. A taxa relativa de crescimento máxima observada no verão para biomassa aérea de *P. vaginatum* foi de 0,31 mg mg⁻¹ dia⁻¹ na salinidade 5 g NaCl L⁻¹. Este valor se encontra entre os maiores citados na literatura para plantas herbáceas anuais e perenes. A taxa de produção de biomassa foi reduzida de forma mais marcada apenas em salinidades acima de 15 g NaCl L⁻¹, demonstrando que as plantas estudadas podem ser classificadas entre as variedades de *P. vaginatum* mais tolerantes à salinidade, mesmo em condições subótimas de crescimento (baixa disponibilidade de radiação solar do outono-inverno).

PALAVRAS-CHAVE: Halófitas; Agricultura salina; Produção de biomassa.

SEASHORE PASPALUM (PASPALUM VAGINATUM SW.) SALT TOLERANCE UNDER DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS OF THE SOUTHERN BRAZIL.

ABSTRACT: Halophytes have the ability to grow and complete their life cycle in an environment under high salt concentrations. *Paspalum vaginatum* Sw. is a perennial grass

¹ Mestrando em Aquicultura, Instituto de Oceanografia (IO), FURG, Rio Grande, RS.

² Doutor, bolsista de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, IO, FURG, Rio Grande, RS.

³ Prof. Doutor, Laboratório de Biotecnologia de Halófitas (BTH), IO, FURG, Av. Itália km 8, CEP: 96203-900, Rio Grande, RS. Fone (53) 32336534. e-mail:docosta@furg.br.

with a worldwide distribution, occurring in salt marshes, mangroves and coastal dunes along the Brazilian coast. Specimens of *P. vaginatum* collected from a hypersaline plane in the municipality of Caravelas (BA, Brazil) had their salt tolerance evaluated. Two experiments were performed in a hydroponic culture system (Hoagland solution) in a non-climatized greenhouse, allowing the evaluation of the effect of southern Brazil seasonality (*i.e.* seasonal variation of temperature and incident solar radiation) on *P. vaginatum* responses to salt stress. The maximum relative growth rate observed during summer cultivation was $0.30 \text{ mg mg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ at 5 g NaCl L^{-1} treatment. This value is among the higher relative growth rates found in the literature for annual and perennial herbaceous plants. Biomass production was markedly reduced only at salinities 15 g NaCl L^{-1} and above, showing that the studied plants can be classified among the most salt tolerant *P. vaginatum* varieties studied, even under suboptimal growth conditions (low solar radiation availability during the autumn-winter season).

KEYWORDS: Halophytes; Saline agriculture; Biomass production.

INTRODUÇÃO

Conforme a revisão de Flowers et al. (2010), plantas halófitas possuem capacidade de crescer e completar seu ciclo de vida em um ambiente com concentrações de sais acima de 13 g NaCl L^{-1} . Estudos desenvolvidos nas últimas duas décadas indicam que as halófitas poderão fornecer uma nova fronteira agrícola para a humanidade, a partir da irrigação de áreas desérticas ou semiáridas com águas salgadas ou efluentes salinos (Glenn et al., 2013; Costa & Herrera, 2016a; 2016b). Estas plantas vêm sendo utilizadas para alimentação, produção de fármacos e suplementos alimentares (devido à elevada concentração de compostos fenólicos e capacidade antioxidante; Souza et al., 2018), na fitorremediação de ambientes costeiros e salinizados (Costa & Herrera, 2016a), na remoção e estocagem de CO_2 atmosférico em ambientes anteriormente desprovidos de cobertura vegetal (Beard & Green, 1994; Costa & Herrera, 2016a).

Entre as espécies de plantas halófitas comumente encontradas em ambientes costeiros está o *Paspalum vaginatum* Sw. Esta grama comumente chamada de capim-aramé (Cordazzo & Seeliger, 1988; Lonard et al., 2014), tem extensa distribuição global em regiões temperadas, subtropicais e tropicais. Plantas de *P. vaginatum* se reproduzem através de sementes, mas principalmente pela propagação vegetativa através de seus estolões (Uddin et al. 2009; 2012), sendo cultivadas em ambientes costeiros como relva em paisagismos e

forageira para pequenos rebanhos (Lonard et al., 2014). Devido ao seu rápido crescimento e amplitude ecológica, *P. vaginatum* tem sido utilizado em muitos estudos de reaproveitamento de solos salinos não produtivos (Shin et al., 2006). A literatura demonstra que plantas de *P. vaginatum* apresentam melhor desenvolvimento em altas salinidades do que outras espécies de gramas turfosas (Pessarakli & Touchane, 2006; Uddin et al., 2009; 2012). Entretanto, *P. vaginatum* apresenta uma grande variabilidade genética entre populações, inclusive com variedades já com patentes registradas (Pozzobon et al., 2008). Logo, o estudo das respostas ecofisiológicas de populações desta espécie submetidas às condições ambientais extremas, como de áreas hipersalinas de marismas tropicais, pode levar à obtenção de material biotecnológico para o aproveitamento de efluentes salinos e recuperação de terras salinizadas, bem como auxiliar na compreensão dos mecanismos de tolerância vegetal à salinidade. Este estudo visou avaliar a tolerância à salinidade e a sazonalidade climática observada no sul do Brasil de plantas do *P. vaginatum* coletadas em um plano entremarés hipersalino tropical.

MATERIAIS E MÉTODOS

Propágulos vegetativos de *P. vaginatum* foram coletados em uma marisma tropical hipersalina localizada no município de Caravelas (BA, Brasil; 17°43' S, 39°15' W) e mantidos no germoplasma do Laboratório de Biotecnologia de Halófitas (BTH), Instituto de Oceanografia (IO), FURG (registro SISGEN nº C231235). A temperatura média anual em Caravelas (BA) é de 24,3 °C, sendo que o mês mais quente do ano é janeiro (média de 26,6° C) e o mais frio é junho (média de 22,3 °C; Climate-data.org). Já a radiação solar diária média anual é de 17,4 MJ m⁻² dia⁻¹, variando mensalmente de 12,9 MJ m⁻² dia⁻¹ (junho) a 21,8 MJ m⁻² dia⁻¹ (fevereiro) (Cresesb/Cepel). O estuário de Caravelas apresenta grande quantidade de manguezais protegidos pela Reserva Extrativista do Cassurubá. As marés são semidiurnas, com amplitudes entre 0,5 m e 2,5 m. Estudos anteriores registraram salinidade média e temperatura da superfície da água de, respectivamente, 37,5 g NaCl L⁻¹ e 29,4 °C, no verão, e de 32,5 g NaCl L⁻¹ e 23 °C no inverno (Travassos et al., 2006).

Os experimentos foram realizados em sistema hidropônico em estufa não climatizada (laboratório BTH, IO, FURG; 32°02' S, 52°05' W), em diferentes períodos do ano; na primavera-verão (condições ótimas de crescimento; realizado no ano de 2012) e outro no outono-inverno (condições sub-ótimas de crescimento; realizado no ano de 2015). Em cada experimento, mudas foram obtidas a partir dos fragmentos vegetativos de estolões e

transferidas para tubos plásticos de 50 cm³ com areia fina de praia lavada. Posteriormente foram cultivadas em bandejas com soluções nutritivas Hoagland “full” modificadas pela adição de NaCl para obtenção de diferentes salinidades. No experimento de primavera-verão, 160 mudas de *P. vaginatum* foram divididas igualmente e submetidas a quatro diferentes níveis de salinidade (0, 5, 30 e 45 g NaCl L⁻¹) ao longo de 28 dias, utilizando apenas os parâmetros biométricos das 10 maiores plantas (com maiores biomassas aéreas) de cada nível de salinidade (máximo desempenho; Costa et al., 2003). Já no experimento de outono-inverno, 36 maiores plantas (colmos mais altos dos 230 fragmentos brotados) foram inicialmente selecionadas, divididas igualmente e submetidas às diferentes salinidades (0, 5, 30 e 45 g NaCl L⁻¹) ao longo de 61 dias. No início do experimento, lotes adicionais de 10 plantas foram cortados e as biomassas aéreas secas das plantas foram estimadas em balança analítica, após secagem em estufa a 60 °C por 48 horas. Ao final dos experimentos foram avaliadas a altura, número de folhas, área foliar e biomassa aérea de cada indivíduo. As taxas de crescimento absoluto (“AGR”; “absolute growth rate”) e de crescimento relativo (“RGR”; “relative growth rate”), além da razão de área foliar (“LAR”; “leaf área ratio”; calculada pela divisão da área foliar pela biomassa aérea) foram estimadas para os períodos dos dois experimentos (Hunt, 1990).

Dados de temperaturas máximas e mínimas diárias no interior da estufa foram monitorados com termômetro de mercúrio. A radiação solar diária foi obtida da Estação Meteorológica Automática do INMET, localizada no Campus Carreiros da FURG (Rio Grande, RS) e corrigidas pela atenuação da cobertura plástica da estufa (57%).

Diferenças entre médias de temperatura e de radiação solar incidente no interior da estufa nos experimentos foram testadas através de testes t de *Student*, ao nível de significância de 5% (Zar, 2009). Os parâmetros biométricos finais (altura do colmo, número de folhas e biomassa aérea seca) e taxas de crescimento e a razão LAR foram estimados nas diferentes salinidades, nos dois experimentos, foram comparados através de Análises de Variância unifatoriais (cada período do ano separadamente, avaliando somente o efeito da salinidade) e bifatoriais (período no ano vs. salinidades), seguidas do teste de contrastes de Tukey (p<0,05) (Zar, 2009). Os parâmetros avaliados foram transformados, quando necessário, para obedecerem aos pressupostos da ANOVA (normalidade - Kolmogorov-Smirnov; homocedasticidade - Bartlett). As taxas de crescimento que apresentaram como resultado valores negativos foram substituídas por “zero” para realização dos testes estatísticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o experimento de primavera-verão, a temperatura registrada no interior da estufa variou de 13 °C a 38 °C ($22,7 \pm 7,8$ °C; média \pm desvio padrão). A condição térmica no experimento de outono-inverno no interior da estufa variou de 8 °C a 33,5 °C ($21,8 \pm 7,3$ °C). Não foi detectada diferença estatística entre as temperaturas médias dos dois experimentos ($t=1,04$; $p=0,30$). Diferente da temperatura, a radiação solar diária média dentro da estufa foi 27,5% maior no experimento de primavera-verão ($10,9 \pm 4,8$ MJ m⁻² dia⁻¹) e significativamente diferente ($t=3,88$; $p<0,001$) do período do experimento de outono-inverno ($7,9 \pm 2,3$ MJ m⁻² dia⁻¹).

Após 28 dias de cultivo nas condições de primavera-verão, as plantas de *P. vaginatum* apresentaram um grande desenvolvimento, levando ao encerramento do experimento para prevenir a situação de falta de espaço nos tubos plásticos de cultivo. Maiores médias de biomassa aérea, altura dos colmos e número de folhas foram observados na ausência de salinidade (tratamento controle). RGRs máximas entorno de 0,30 mg mg⁻¹ dia⁻¹ foram observadas nos tratamentos 0 e 5 g NaCl L⁻¹ (Figura 1). Estes valores são superiores a maioria dos encontrados por Grime & Hunt (1975) em seu estudo revisional, que comparou 130 herbáceas anuais e perenes, cujas taxas RGR variaram de 0,03 a 0,38 mg mg⁻¹ dia⁻¹. Embora tenha sido sugerido que o crescimento lento seja uma consequência da tolerância ao sal das halófitas (Niu et al., 1995), as altas taxas RGR de *P. vaginatum* contradizem esta afirmação, indicando a grande capacidade de gerar biomassa desta planta e demonstrando seu potencial forrageiro em áreas salinizadas.

No período de primavera-verão, todos os parâmetros biológicos avaliados foram significativamente afetados pela salinidade. Entretanto, a altura dos colmos e a LAR mostraram-se mais sensíveis à salinidade do que o número de folhas formadas (Figura 1). Logo, podemos propor que a redução da biomassa aérea de *P. vaginatum* sobre estresse salino em condições climatológicas ótimas é promovida pela redução do tamanho das folhas e não do número destas unidades modulares. As plantas de Caravelas demonstraram uma redução de 50% da biomassa aérea somente em salinidade superiores a 30 g NaCl L⁻¹ (Figura 1). Este resultado mostra uma tolerância à salinidade maior do que da variedade “*Paspalum Sea Isle 2000*”, estudada por Pessarikli & Touchane (2006). Após quatro semanas de cultivo, esta variedade mostrou em uma salinidade de 10 g NaCl L⁻¹ uma biomassa aérea 50% menor do que de plantas cultivadas na ausência de salinidade. Berndt (2007) e Dudeck & Peacock (1985) encontraram reduções de 50% da máxima biomassa aérea (observada em cultivos sem

sal) em salinidade de 12 g NaCl L⁻¹, respectivamente, para plantas de *P. vaginatum* coletadas em uma praia na Flórida (Estados Unidos) e para a variedade ‘Adalayd’ de *P. vaginatum*. Uddin et al. (2009; 2012) também realizaram testes de tolerância à salinidade com espécies de gramas halófitas na Malásia, observando que plantas de uma população de *P. vaginatum* mostraram a maior tolerância a salinidade, reduzindo em apenas 23% a biomassa aérea produzida na ausência de sal, quando cultivadas em uma salinidade de 32 g NaCl L⁻¹. Logo, as plantas de *P. vaginatum* de Caravelas podem ser classificadas entre as variedades mais tolerantes à salinidade já estudadas dessa espécie.

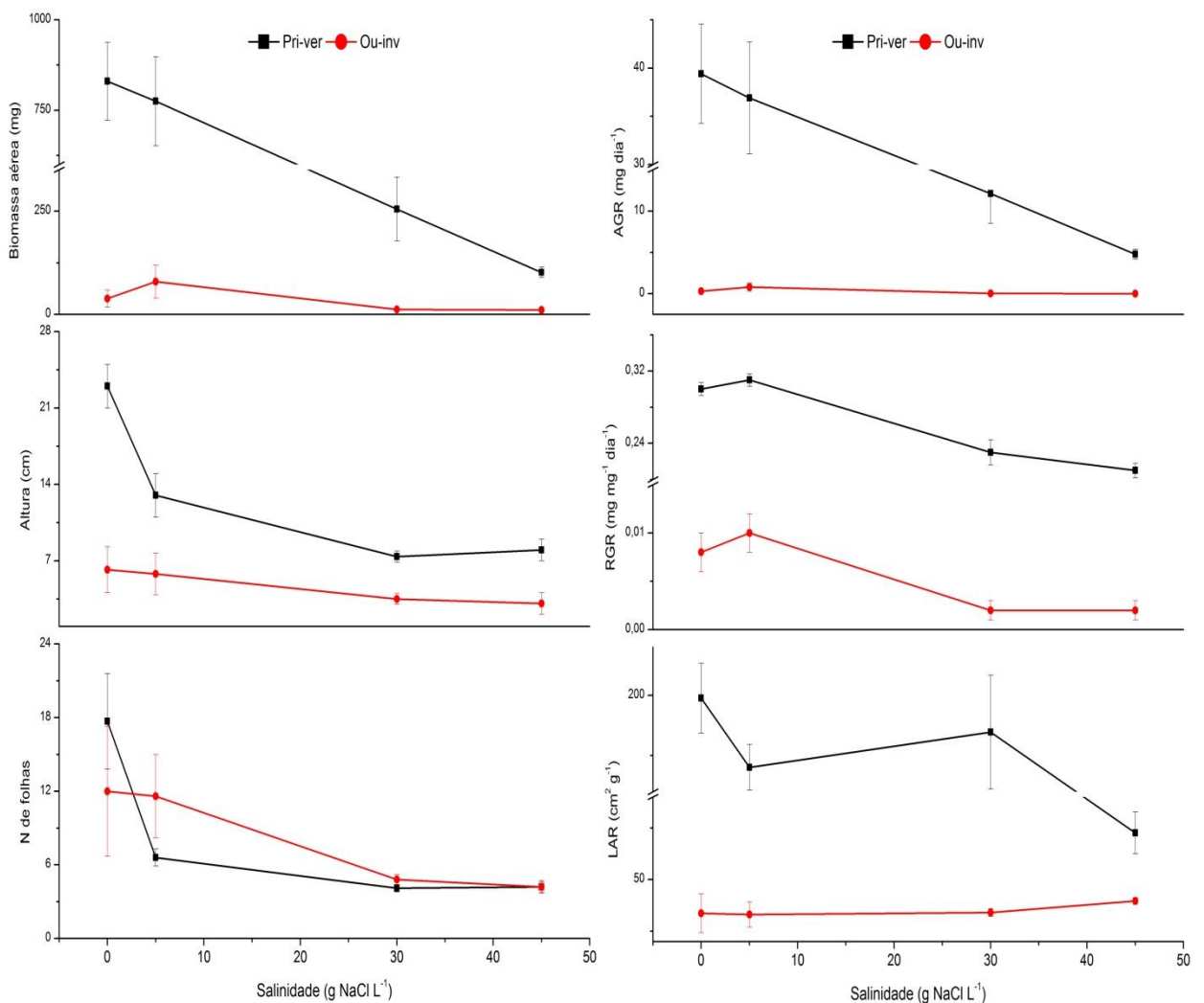


Figura 1. Médias (\pm erro padrão) das biomassas aéreas secas (mg), alturas dos colmos (cm), números de folhas por colmo, taxas de crescimento absoluto (AGR; mg dia⁻¹), de crescimento relativo (RGR; mg mg⁻¹ dia⁻¹) e razão de área foliar (LAR; cm² g⁻¹) do *Paspalum vaginatum* sob diferentes salinidades (g NaCl L⁻¹) ao final dos experimentos nos diferentes períodos do ano (primavera-verão; outono-inverno) no extremo sul do Brasil.

No experimento realizado no período de outono-inverno, mesmo as plantas tendo sido cultivadas nas diferentes salinidades pelo dobro do tempo do primeiro experimento (61 dias), o desenvolvimento vegetativo foi muito pequeno (Figura 1) e sem uma eventual restrição de

espaço nos tubos plásticos de cultivo. Todos os resultados obtidos das ANOVAs bifatoriais são apresentados na Tabela 1. Exceto para o número de folhas por colmo, as ANOVAs bifatoriais confirmaram o menor desenvolvimento de todos os parâmetros biológicos do *P. vaginatum* no outono-inverno, evidenciando um maior efeito das condições climatológicas do que da salinidade no crescimento das mudas da planta. No período de outono-inverno não foram observados efeitos significativos da salinidade nos parâmetros biológicos analisados, resultado em padrões de resposta distintos dos observados em plantas cultivadas no período de primavera-verão (Figura 1), bem como interações significativas entre os fatores Período do ano e Salinidade (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado das Análises de Variância bifatoriais das biomassas secas aérea (mg), altura (cm), número de folhas, taxas de crescimento absoluto (AGR; mg dia⁻¹), crescimento relativo (RGR; mg mg⁻¹ dia⁻¹) e razão de área foliar (LAR; cm² g⁻¹) do *Paspalum vaginatum* sob diferentes salinidades (g NaCl L⁻¹) ao final dos experimentos nos diferentes períodos do ano (estação).

Fator	Biomassa		Altura		Nº de folhas		AGR		RGR		LAR	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Estação	311,1	**	89,9	**	0,1	ns	198,1	**	1092	**	189,5	**
Salinidade	17,4	**	13,9	**	13,5	**	12,2	**	9,4	**	6,8	*
Interação	3,5	*	5,1	*	0,8	ns	8,2	**	6,6	**	9,4	**

ns = não significativo; *p<0,05; **p<0,01.

Quanto à causa da redução do desenvolvimento das plantas de *P. vaginatum* no outono-inverno, a temperatura média no interior da estufa (21,8 °C) foi 10,2 % menor do que a temperatura média (24,3 °C; média anual em Caravelas, BA) no local de origem das plantas. Visto que no experimento de primavera-verão a temperatura média não foi de 22,7 °C (6,5 % da média de Caravelas), estas diferenças não parecem explicar os desenvolvimentos distintos das plantas na ausência de salinidade. A diferença observada na radiação solar incidente entre os dois experimentos (27,5% maior no experimento de primavera-verão) foi muito maior do que a de temperatura. Existem poucos estudos sobre as respostas de espécies de *P. vaginatum* à radiação solar, porém Jiang et al. (2004) submetem diferentes gramíneas turfosas à incidência solar direta e à reduções de 68-72% da radiação solar em um teste de sombreamento, observando reduções entre 45-62% de biomassa aérea de oito variedades de *P. vaginatum* sob baixa luminosidade (radiação solar média entorno de 4,8-5,4 MJ m⁻² dia⁻¹). Os níveis baixos de radiação são próximos da média do experimento de outono-inverno (7,9 MJ m⁻² d⁻¹), e estes resultados mostraram diferenças na tolerância à baixa radiação entre variedades (geneticamente distintas) de *P. vaginatum*, mas uma grande sensibilidade desta espécie a baixos níveis de radiação solar. O menor desenvolvimento das plantas nas condições climatológicas de outono-inverno pode ser possivelmente explicado pela baixa luminosidade

do período, entretanto as plantas mesmo pouco desenvolvidas apresentaram alta resistência à salinidade, não sendo observada mortalidade mesmo quando expostas à hipersalinidade de 45 g NaCl L⁻¹.

CONCLUSÕES

Foi evidenciado que o *Paspalum vaginatum* tropical pode ser utilizada em solo com uma ampla gama de salinidades ou a irrigação de seus gramados com águas altamente salinas. Contudo, estas plantas demonstraram ser sensíveis aos baixos níveis de radiação solar do outono-inverno do sul do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (projetos 573884/2008-0-INCTSAL e 408921/2013). M.M.Souza foi apoiado com uma bolsa de doutorado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beard, J.B., Green, R.L. 1994. The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans. *Journal of Environmental Quality*, v. 23, n. 3, p. 452-460.
- Cordazzo, César Vieira, Seeliger, Ulrich. 1988. Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil. Rio Grande: Fundação Universidade do Rio Grande 275p.
- Costa, C.S.B., Marangoni, J.C. & Azevedo, A.M.G. 2003. Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *Journal of Ecology*. 91(6), 951-965
- Costa, C. S. B., & Herrera, O. B. 2016a. Halophytic Life in Brazilian Salt Flats: Biodiversity, Uses and Threats. In *Sabkha Ecosystems Volume V: The Americas* (pp. 11-27). Springer International Publishing.

Costa, C.S.B., & Herrera, O. B. 2016b. Halófitas brasileiras: Formas de cultivo e usos. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados, Fortaleza – CE.

Dudeck, A. E., & Peacock, C. H. 1985. Effects of salinity on seashore *Paspalum* turfgrasses. *Agronomy Journal*, 77(1), 47-50

Flowers, Timothy J., Galal, Hanaa K., Bromham, Lindell. 2010. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, v. 37, n. 7, p. 604-612.

Glenn, E.P., Anday, T., Chaturvedi, R., Martinez-Garcia, R., Pearlstein, S., Soliz, D., Nelson, S.G., & Felger, R.S., 2013. Three halophytes for saline-water agriculture: an oilseed, a forage and a grain crop. *Environment Experimental Botany*. v. 92, p. 110-121.

Grime, J. P., & Hunt, R. 1975. Relative growth-rate: its range and adaptive significance in a local flora. *The Journal of Ecology*, 393-422.

Jiang, Y., Duncan, R.R., Carrow, R.N. 2004. Assessment of low light tolerance of seashore *Paspalum* and bermudagrass. *Crop Science*, 44(2), 587-594.

Hunt, R. 1990. *Basic growth analysis: Plant growth analysis for beginners*. London: Unwin Hyman.

Lonard, R. I., Judd, F. W., & Stalter, R. 2014. Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Paspalum vaginatum* Sw. *Journal of Coastal Research*, 31(1), 213-223.

Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., & Pardo, J. M. 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant physiology*, 109(3), 735.

Pessaraki, M. & Touchane, H. 2006. Growth responses of bermudagrass and seashore *Paspalum* under various levels of sodium chloride stress. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 4, (3/4), 240.

Shin J.S., Raymer, P., Kim, W. 2006. Environmental factors influencing germination in seeded seashore *Paspalum*. *HortScience*, 41(5), 1330-1331.

Souza, M.M. de, Silva, B. da, Costa, C.S.B., & Badiale-Furlong, E. (2018). Free phenolic compounds extraction from Brazilian halophytes, soybean and rice bran by ultrasound-

assisted and orbital shaker methods. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 90(4), 3363-3372.

Travassos, M. P., Krüger, G. T., Lopes, E. B. P., & Pinto, J. A. 2006. Hydrochemical characteristics of the Caravelas River Estuary and surrounding seazone, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39(SI), 736-740.

Uddin, K, Juraimi, A.S., Ismail, M.R., Othman, R., Rahim, A.A. 2009. Growth response of eight tropical turfgrass species to salinity. *African Journal of Biotechnology*, 8(21), 5799-5806.

Uddin, M.K., Juraimi, A.S., Ismail, M.R., Hossain, M.A., Othman, R., Rahim, A.A. 2012. Physiological and growth responses of six turfgrass species relative to salinity tolerance. *The Scientific World Journal*, Art. ID 905468, 10 p.

Zar, J. H. 2009. *Biostatistical analysis*. 5ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc., 718 p.