



## Curvas de luz em *Atriplex nummularia* irrigada com água salina<sup>(1)</sup>.

**Martha Katharinne Silva Souza Paulino<sup>(2)</sup>; Cíntia Maria Teixeira Lins<sup>(3)</sup>; Lucas Yago de Carvalho Leal<sup>(4)</sup>; Edivan Rodrigues de Souza<sup>(5)</sup>; Diego Vandeval Maranhão de Melo<sup>(6)</sup>; Jailson Cavalcante Cunha<sup>(7)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do CNPq (Projeto Universal n° 473817/2013-6) e FACEPE.

<sup>(2)</sup> Graduanda em Engenharia agrícola e Ambiental; Universidade Federal Rural de Pernambuco; Recife, Pernambuco; marthakatharinne@gmail.com; <sup>(3)</sup> Pós-graduanda em ciência do solo; Universidade Federal Rural de Pernambuco; <sup>(4)</sup> Graduando em Engenharia agrícola e Ambiental; Universidade Federal Rural de Pernambuco; <sup>(5)</sup> Professor adjunto; Universidade Federal Rural de Pernambuco; <sup>(6)</sup> Doutorando em ciência do solo; Universidade Federal Rural de Pernambuco; <sup>(7)</sup> Pós-doutorando; Universidade Federal Rural de Pernambuco.

**RESUMO:** Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o comportamento da fotossíntese em diferentes intensidades luminosas em *Atriplex nummularia* irrigada com águas salinas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação obedecendo ao delineamento em blocos ao acaso, com seis tratamentos e cinco repetições. A fonte de sal utilizada no preparo das águas de irrigação foi o NaCl, em seis concentrações distintas (0, 50, 100, 200, 250 e 300 mmol L<sup>-1</sup>). As mensurações das trocas gasosas foram realizadas com o analisador de gás por infravermelho (IRGA-LICOR), 15 dias após o início da aplicação do tratamento salino. Para a construção da curva de luz foi escolhida uma folha sadia completamente expandida do terço médio de uma planta de cada tratamento as quais foram submetidas a vinte intensidades luminosas distintas (2000, 1750, 1500, 1250, 1000, 750, 500, 250, 200, 175, 150, 125, 100, 75, 50, 25, 15, 10, 5, 0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR). Observou-se uma redução discreta na taxa fotossintética e condutância estomática decorrente do estresse salino. Na curva de luz a resposta da fotossíntese sobre a salinidade foram bem evidenciadas no decaimento das taxas fotossintéticas com o incremento das concentrações de NaCl com radiações saturantes de 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para os tratamentos 0 e 50 mmol L<sup>-1</sup>, 1750  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o tratamento de 100 mmol L<sup>-1</sup>, 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para os tratamentos de 200 e 300 mmol L<sup>-1</sup> e 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o tratamento de 250 mmol L<sup>-1</sup>.

**Termos de indexação:** Trocas gasosas, radiação fotossinteticamente ativa, evolução da salinidade.

### INTRODUÇÃO

Os vegetais estão constantemente expostos a estresses bióticos e abióticos, que induzem mudanças e respostas em todos os níveis funcionais dos organismos. Dentre eles, o estresse salino é um dos que mais comprometem o crescimento e a produtividade de culturas (Islã & Aragués, 2010).

Segundo a FAO (2010), estima-se que 15% da área terrestre total do mundo tem sido degradada pela salinização e erosão do solo, sendo agravadas em regiões áridas e semi-áridas, onde a precipitação é insuficiente para lixiviação de sais solúveis no solo, ou drenagem restrita (FAO, 2005).

De acordo com USSL & Staff (1954) os solos salinos são caracterizados como solos cuja condutividade elétrica do extrato de saturação é igual ou superior a 4 dS m<sup>-1</sup> sendo esta a condutividade limítrofe para a maioria das culturas agrícolas. A salinidade restringe o crescimento das plantas devido a presença de íons que contribuem para a redução do potencial osmótico da solução, contribuindo para a diminuição da disponibilidade de água. Outro problema associado a salinidade é a toxicidade de íons específicos que são absorvidos e acumulados nos tecidos vegetais, resultando em distúrbios nas relações hídricas e na absorção e utilização de nutrientes essenciais para as plantas (Amorim et al., 2010; FAO, 2010; Tripler, 2011). Modificações no metabolismo, induzidas pela salinidade, são consequências de várias respostas fisiológicas da planta, dentre as quais se destacam as modificações no balanço iônico, comportamento estomático e eficiência fotossintética (Zanandrea et al., 2014). Uma das estratégias de plantas cujo desenvolvimento se dá em ambientes salinos é a redução da área foliar fotossintética e o fechamento estomático a fim de manter o turgor celular permitindo à planta dar continuidade às atividades metabólicas. Em geral, reduções da área fotossintética e fechamento estomático são acompanhadas pela baixa assimilação de CO<sub>2</sub> contribuindo diretamente com a redução da atividade fotossintética (Munns, 2002; Araújo & Deminiciis, 2009; Kluge et al., 2014).

A relação entre fotossíntese e intensidade de luz tem sido objeto de investigação de Fitofisiologistas durante muitos anos. Nesse contexto, tem-se como principal mecanismo de estudo a curva de luz, que mostra a interação entre a quantidade de luz fotossinteticamente ativa absorvida pelos



fotossistemas de uma folha e a taxa fotossintética de produção (Montero, 2011). Com a curva de luz é possível observar a resposta do processo de fotossíntese a diferentes intensidades de radiação, ilustrando a aclimação do aparato fotossintético bem como a avaliação da atividade fotossintética na planta. A curva é caracterizada por três regiões distintas: a luz limitada onde a fotossíntese é restrita pela irradiação; a fotossíntese máxima, ponto em que a fotossíntese atinge sua taxa máxima e se mantém equilibrada independentemente do aumento da intensidade luminosa e a região de fotoinibição, onde é possível observar o decaimento da taxa fotossintética causada pela saturação luminosa ocasionada por um complexo conjunto de processos moleculares que promovem a inibição de fotossíntese através do excesso de luz, afetando o crescimento vegetal e reduzindo a produtividade (Ralph & Gademann, 2005; Araújo & Deminiciis, 2009).

*Atriplex nummularia* é uma espécie forrageira da família *Chenopodiaceae*. Apesar do hábito arbustivo, a espécie atinge alturas superiores a 2 metros, devido a sua adaptabilidade a estresses abióticos, se desenvolve bem em regiões de climas áridos e semiáridos onde usualmente ocorrem solos com características salinas e/ou sódicas, sendo amplamente estudada no âmbito de tolerância à salinidade (Dos Santos, 2013; De Souza, 2012).

Com esse estudo objetivou-se avaliar respostas fisiológicas da *Atriplex nummularia* submetida a seis níveis de salinidade distintos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal Rural de Pernambuco (SEDE), Recife, utilizando um Neossolo Flúvico. O solo foi coletado no município de Pesqueira interior de Pernambuco localizado a 219,4 km da capital. O solo foi coletado na profundidade de 0-30 cm. O material coletado foi transportado para Universidade Federal Rural de Pernambuco onde foi secado ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de malha de 4 mm com o objetivo de manter a microagregação das partículas. Mudanças de *Atriplex* obtidas a partir de estacas provenientes de uma única planta matriz a fim de minimizar os efeitos de variabilidade genética foram cultivadas em vasos com capacidade para 5 dm<sup>3</sup>.

Inicialmente, as mudas foram cultivadas em sacos de polietileno por dois meses até a ocasião do transplante, objetivando a aclimação a nova condição. O solo foi mantido a 80% da capacidade de campo sem a utilização das soluções salinas durante as duas primeiras semanas.

As águas de irrigação foram preparadas utilizando como fonte de sal o NaCl em seis concentrações distintas (0, 50, 100, 200, 250 e 300 mmol L<sup>-1</sup>). Aos 15 dias após o transplante as plantas foram submetidas ao tratamento salino. Afim de manter a umidade do solo a 80% da capacidade de campo realizou-se pesagens diárias e reposição do volume de água perdido por evapotranspiração.

Decorridos 15 dias após o tratamento salino, foram realizadas no início da manhã mensurações da fotossíntese e condutância estomática com o analisador de gás por infravermelho IRGA modelo da LICOR6400XT.

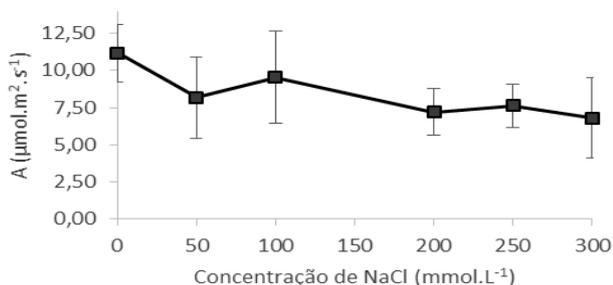
As medições referentes à curva de luz foram realizadas em plantas representativas de cada tratamento escolhendo uma folha sadia e totalmente expandida do terço médio de cada planta a qual foi submetida a níveis de radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Objetivando a aclimação foliar as folhas foram submetidas a intensidade de 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , sendo o ponto inicial da construção da curva equivalente a 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , os pontos posteriores foram conseguidos a partir da diminuição dos níveis de PAR até a ausência de luz (0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), obtendo assim os dados de fotossíntese necessários para a construção da curva.

O experimento foi montado em blocos inteiramente ao acaso constando de seis tratamentos cada um com cinco repetições totalizando 30 unidades experimentais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

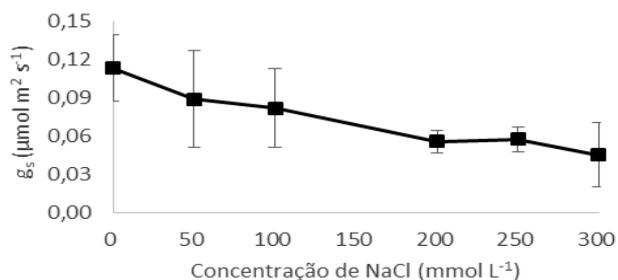
A análise dos dados de trocas gasosas permitiu observar as respostas das plantas a diferentes níveis de salinidade. Notou-se assim leve diminuição da taxa de fotossíntese líquida (A) em resposta ao incremento das concentrações de NaCl (**Figura 1**). Este comportamento também foi observado em diferentes culturas por Bezerra (2005); Neves et al. (2009) e tem sido atribuído a limitações estomáticas associadas a efeitos osmóticos da salinidade (Guimarães, 2005; Bezerra et al., 2005; Wilson et al., 2006). Por outro lado, este efeito pode também estar relacionado com os danos ao aparelho fotossintético e, ou, no sistema enzimático de fixação do CO<sub>2</sub>, causadas pela toxidez iônica sobre o metabolismo (Neves et al., 2009).

Resultados semelhantes foram obtidos na análise de condutância estomática (g<sub>s</sub>), onde também foi observado um decaimento com o aumento da concentração de NaCl (**Figura 2**). Além disso, em comparação com a fotossíntese notou-se que o estresse salino foi mais expressivo sobre a g<sub>s</sub>, resultado coerente como observado por Assis Júnior et al. (2007) e Neves (2009).



**Figura 1** – Taxa fotossintética (A) da *Atriplex nummularia* submetida a diferentes concentrações de NaCl, após 15 dias de aplicação de águas salinas.

O decaimento da  $g_s$  pode ser atribuído ao fechamento parcial dos estômatos derivado do efeito osmótico, associado ao acúmulo de sais no solo acompanhado da redução da condutividade hidráulica do sistema radicular (Neves et al., 2009).



**Figura 2** – Condutância estomática ( $g_s$ ) da *Atriplex nummularia* submetida a diferentes concentrações de NaCl, após 15 dias de aplicação de águas salinas.

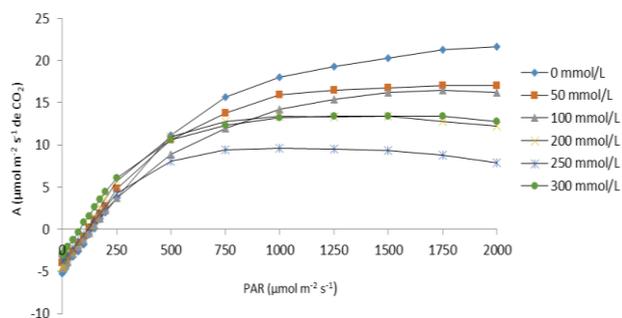
Analisando o efeito do incremento de sais no cultivo de atriplex é possível observar que houve redução de aproximadamente 39% e 60% entre as plantas cultivadas sem adição de sais e na maior dose de NaCl, na A e na  $g_s$ , respectivamente. Isso mostra que, mesmo sob maior limitação estomática, as plantas cultivadas sob maior concentração de NaCl, embora possa sofrer algum dano metabólico, continua sua atividade fotossintética afim de manter suas reações de carboxilação. Esta capacidade de menor redução da A em relação à  $g_s$ , pode ter relação direta ao metabolismo fotossintético característico da espécie *Atriplex nummularia*, já que sob menor abertura estomática a planta consegue manter a assimilação de carbono em função do seu mecanismo concentrador de CO<sub>2</sub>, típico de plantas C<sub>4</sub>.

A construção da curva de luz (**Figura 3**) iniciou-se com intensidade de 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e nesse ponto foi possível observar a convergência da taxa de fotossíntese de todos os tratamentos. Com o aumento da intensidade luminosa a taxa fotossintética cresce proporcionalmente

demonstrando que a luz é fator limitante, ou seja, altas faixas de intensidade luminosa proporciona uma maior taxa de fotossíntese nas plantas até atingir a fotossíntese máxima, um dos parâmetros que definem a curva de luz.

O ponto de fotossíntese máxima, também conhecido como saturação de luz, dos tratamentos salinos decai com o incremento da concentração de sal na solução do solo, sendo de 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para os tratamentos de 0 e 50 mmol L<sup>-1</sup>, 1750  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o tratamento de 100 mmol L<sup>-1</sup>, 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para os tratamentos de 200 e 300 mmol L<sup>-1</sup> e 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o tratamento de 250 mmol L<sup>-1</sup> (**Figura 3**). Este comportamento é derivado do déficit hídrico causado pela salinização, uma vez que a disponibilidade de água atua como fator que limita a fotossíntese, através da diminuição no suprimento de CO<sub>2</sub>, derivado do fechamento estomático. (Kluge et al., 2014).

Logo após a saturação luminosa, a luz deixa de ser um o fator limitante e observa-se o ponto de inibição da fotossíntese, derivado da fotoinibição, processo que promove a inibição da fotossíntese através do excesso de luz (Araújo & Deminici, 2009). Na **Figura 3**, os tratamento de 0 e 50 mmol L<sup>-1</sup>, apresentam sua maior taxa de fotossíntese à intensidade de 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , desta forma, não é possível afirmar se esses são os pontos de fotossíntese máxima dos tratamentos uma vez que a curva de ambos poderia continuar aumentando em intensidades superiores. Por outro lado, nos demais tratamentos a fotoinibição observada com a diminuição da taxa de fotossíntese máxima foi obtida na intensidade de 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o tratamento de 250 mmol L<sup>-1</sup> e 1750  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o tratamento de 200 mmol L<sup>-1</sup> e 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para os tratamentos de 100 e 300 mmol L<sup>-1</sup>.



**Figura 3** – Curva de luz da *Atriplex nummularia* submetidas a diferentes concentrações de NaCl, após 15 dias de aplicação de águas salinas.

Com a diminuição da intensidade fotossintética observa-se um limite onde a taxa fotossintética é igual a taxa de respiração. Esse limite, chamado de ponto de compensação de luz, foi de 150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



<sup>1</sup> para a concentração 0 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl e 75 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para a concentração de 300 mmol L<sup>-1</sup>. Os valores extremos que estão associados à atividade respiratória nas folhas na ausência de luz foram de 5 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> e -2 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> para as concentrações de 0 mmol L<sup>-1</sup> e 300 mmol L<sup>-1</sup>, respectivamente. A menor taxa de respiração encontrada para a maior concentração de NaCl pode estar relacionada a limitações estomáticas e, ou, limitações na síntese de produtos, durante a fase de reações luminosas, que são utilizados no processo respiratório, como ATP e poder redutor.

### CONCLUSÕES

O incremento de NaCl no cultivo de *Atriplex nummularia* limita a abertura estomática e reduz a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>. O ponto de saturação de luz em plantas de atriplex é reduzido em resposta à adição da concentração de NaCl no solo.

### REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. V.; GOMES-FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, 41: 113-121, 2010.
- ARAÚJO, S. A.C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. *Revista Brasileira de Biociências*. 7:463-472, 2009.
- ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F. DE; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-decorda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. *Engenharia Agrícola*, 27:702-713. 2007.
- BEZERRA, M. A.; LACERDA, C. F. DE; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Crescimento e fotossíntese de plantas jovens de cajueiro anão-precoce sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9: 90-94, 2005.
- DE SOUZA, E. R.; FREIRE M. B. G. dos S.; DO NASCIMENTO, C. W. A.; MONTENEGRO, A. A. de A.; FREIRE, F. J. DE MELO, H. F. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. *Environmental and Experimental Botany*. 82:20-27, 2012.
- DOS SANTOS, M. A.; FREIRE M. B. G. dos S.; DE ALMEIDA, B. G.; LINS C. M. T.; DA SILVA, E. M.. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com *Atriplex nummularia* e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*.17:397-404, 2013.
- FAO. Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change, 2010. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-as587e.pdf>>. Acesso em 06 jun 2015.
- FAO. Management Of Irrigation-Induced Salt-Affected Soils, 2005. Disponível em: <[ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/salinity\\_brochure\\_eng.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/salinity_brochure_eng.pdf)>. Acesso em 06 jun 2015.
- GUIMARÃES, F. V. Respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de feijão de corda cv Pitiúba submetidas ao estresse com NaCl em diferentes concentrações de CaCl<sub>2</sub> e CaSO<sub>4</sub>. Fortaleza: UFC. Tese (Doutorado em Bioquímica Vegetal). 176. 2005.
- KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; DA SILVA, P. M. Aspectos Fisiológicos e Ambientais da Fotossíntese. *Revista Virtual de Química*.7: 56-73, 2014.
- ISLÃ, R.; ARAGUÉS, R. Yield and plant ion concentrations in maize (*Zea mays* L.) subject to diurnal and nocturnal saline sprinkler irrigations. *Field Crops Research*. 116: 175-183, 2010.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, Logan. 25: 239-250, 2002.
- MONTERO, W. R. ¿Qué es y para qué sirve una curva de respuesta a la luz?. . *Boletín Técnico de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica*. 3:1-3, 2011.
- NEVES, A. L. R.; DE LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; GOMES FILHO, E.; FEITOSA D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:873-881, 2009.
- RALPH, P. J. & GADEMANN, R. Rapid light curves: a powerful tool for the assessment of photosynthetic activity. *Aquat. Bot.* 82: 222–237, 2005.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.954p.
- TRIPLER, E.; SHANI, U.;MUALEM, Y.; BEN-GAL, A. Long-term growth, water consumption and yield of date palm as a function of salinity. *Agricultural Water Management* 99: 128–134, 2011.
- UNITED STATES SALINITY LABORATORY – USSL STAFF. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p.
- WILSON, C.; LIU, S.; LESCH, S. M.; SUAREZ, D. L. Growth response of major USA cowpea cultivars II. Effect of salinity n leaf gas exchange. *Plant Science*, 170: 1095- 1101. 2006.
- ZANANDREA, I.; NASSI, F. de L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; PETERS, M. A.. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. *Current Agricultural Science and Technology*.2014.