

RELAÇÃO SÓDIO/POTÁSSIO EM ALGODÃO EM FUNÇÃO DA SALINIDADE COMBINADA AO USO DE ATENUANTES DO ESTRESSE

Maria Brena dos Santos Pinto¹, Raquel Rodrigues Moura², Mirelysia Meireles Moura³, Bruna Alves da Silva⁴, José Thomas Machado de Sousa⁵, Rosilene Mesquita Oliveira⁶

RESUMO: O algodoeiro é uma cultura bem adaptada a regiões áridas e semiáridas, no entanto, entre os obstáculos de produção está a potencial salinidade de solos e água para irrigação. Visto os efeitos nocivos da salinidade no algodoeiro, o estudo objetivou avaliar os teores de sódio (Na^+) e potássio (K^+) e a relação Na^+/K^+ nas folhas e raízes do algodão submetido à dois níveis de salinidade (0,2 e 4,5 dS m^{-1}) e a combinação de possíveis atenuantes do estresse salino totalizando quatro tratamentos (controle, biocarvão, bioestimulante e biocarvão + bioestimulante), utilizando um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em um arranjo fatorial 4 x 2. O bioestimulante (T3) apresentou melhores resultados na relação Na^+/K^+ na raiz em condições salinas menores (0,2 dS m^{-1}). Já em salinidade 4,5 dS m^{-1} o tratamento biocarvão (T2) obteve melhor desempenho para a mesma variável. Em relação à combinação biocarvão e bioestimulante (T4) não foi apresentada nenhuma sinergia, sugerindo uma atuação independente. Para os teores de Na^+ e K^+ isoladamente nas folhas, não houve diferença significativa entre os tratamentos de mitigação, apenas entre os dois grupos de salinidade. Para os teores de Na^+ e K^+ isolados na raiz, houve uma maior eficiência do biocarvão (T2) em acúmulo de K^+ . Portanto, o observado foi que o estresse salino provocou uma redução na retenção de K^+ e que a eficiência do biocarvão (T2) se deu isoladamente ao bioestimulante (T3), sendo estratégias aliadas ao objetivo do manejo e ambas viáveis para redução dos efeitos nocivos da salinidade no algodão.

PALAVRAS-CHAVE: (*Gossypium hirsutum* L.); biochar; bioestimulante.

¹ Graduanda em Agronomia, Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP 60455-760 Fortaleza-CE, Fone (85) 981359910. E-mail: barbosabrena2@gmail.com.

² Graduanda em Agronomia, Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP 60455-760, Fortaleza-CE.

³ Mestranda em Agronomia/Fitotecnia na Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP 60455-760, Fortaleza-CE.

⁴ Doutoranda em Agronomia/Fitotecnia na Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP 60455-760, Fortaleza-CE

⁵ Doutorando em Agronomia/Fitotecnia na Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP 60455-760, Fortaleza-CE.

⁶ Professora Doutora, Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP 60455-760, Fortaleza-CE.

SODIUM/POTASSIUM RATIO IN COTTON AS A FUNCTION OF SALINITY COMBINED WITH THE USE OF STRESS MITIGATORS

ABSTRACT: The cotton plant is well adapted to arid and semi-arid regions, however, among the production challenges is the potential salinity of soils and irrigation water. Considering the harmful effects of salinity on cotton, this study aimed to evaluate the sodium (Na^+) and potassium (K^+) contents, as well as the Na^+/K^+ ratio in the leaves and roots of cotton subjected to two salinity levels (0.2 and 4.5 dS m^{-1}) and the combination of potential mitigators of salt stress, totaling four treatments (control, biochar, biostimulant, and biochar + biostimulant), using a completely randomized design (CRD) in a 4x2 factorial arrangement.

The biostimulant treatment (T3) showed better results for the Na^+/K^+ ratio in roots under lower salinity conditions (0.2 dS m^{-1}). At a higher salinity level (4.5 dS m^{-1}), the biochar treatment (T2) performed better for the same variable. The combination of biochar and biostimulant (T4) did not present any synergistic effect, suggesting independent action. For the individual Na^+ and K^+ levels in leaves, no significant differences were observed among the mitigation treatments, only between the two salinity levels. In the roots, however, the biochar (T2) treatment showed greater efficiency in potassium (K^+) accumulation. Therefore, the study concluded that salt stress reduced K^+ retention, and the effectiveness of biochar (T2) was independent of the biostimulant (T3). Both strategies were shown to be viable for reducing the harmful effects of salinity in cotton and are useful tools for salinity management.

KEYWORDS: (*Gossypium hirsutum* L.); biochar; biostimulant.

INTRODUÇÃO

O algodão herbáceo da família Malvaceae é originário do México e da América Central, (Carvalho et al., 2000). Tal cultura é uma das principais culturas domesticadas pelo homem, cujo principal produto é a fibra, responsável por mais da metade da produção têxtil e subprodutos de valor agregado, como o óleo utilizado na alimentação humana e a torta da semente de algodão, utilizada para alimentação de ruminantes como concentrado protéico, (Paim et al., 2010).

Devido a importância socioeconômica da cotonicultura e implantação de novas áreas com a cultura no Nordeste brasileiro, cuja temperatura colabora para evaporação das lâminas de água

acumulando sais em superfície e camadas do solo, aumentando o potencial de estresse por salinidade que se mostram como desafio ao cultivo (Khan et al., 2024), têm-se a importância do uso de tecnologias para atenuar os efeitos fisiológicos nocivos da salinidade.

As regiões semiáridas possuem baixa pluviosidade no decorrer do ano, sendo a irrigação e outras práticas a garantia de sucesso dos cultivos, no entanto devido ao uso das águas de qualidade para outras prioridades antrópicas muitas vezes água de qualidade inferior é utilizada para irrigação (Nobre et al., 2011). A irrigação é uma das tecnologias de maior influência no desenvolvimento e produção das culturas, minimizando os efeitos negativos das secas periódicas e irregularidade das chuvas, condições edafoclimáticas típicas das regiões áridas e semiáridas. (Rhoades et al., 2000). No entanto, estudos têm observado efeitos deletérios do estresse salino no desempenho do algodoeiro sendo essa resposta influenciada pelo genótipo do algodão e o manejo adotado. (Jácome et al., 2003).

Os principais efeitos nocivos dos sais na planta é o efeito osmótico, no qual a quantidade de sais no solo interfere na absorção de água pelas plantas (Tavakkoli et al., 2012) e como consequência um desequilíbrio nutricional pela redução de íons essenciais como o Ca^{+2} , K^{+} e NO_3^- e o efeito iônico que resultam das alterações da relação $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$ (Horier e Schrorder, 2004). As consequências do estresse salino podem levar a planta ao estresse hídrico, devido à alta concentração de sais no interior dos vasos, além dos efeitos tóxicos ocasionados. Por esse motivo o balanço osmótico é essencial para um bom desenvolvimento de planta em ambientes salinos, e qualquer falha no equilíbrio osmótico resultará em injúrias semelhantes aos da seca, como a perda de turgescência, redução de crescimento e produção, resultando em plantas atrofiadas, desidratadas e por fim morte celular (Ashraf & Harris, 2004). Com isso o objetivo do trabalho foi avaliar como a salinidade influencia essas alterações da relação $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$ na planta e qual a alternativa mais viável de mitigar esses efeitos deletérios do estresse salino.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de fevereiro a maio de 2025, em casa de vegetação localizada na área experimental de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza–CE. O delineamento utilizado no experimento foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4 x 2, utilizando-se quatro tratamentos e dois níveis de salinidade, com 5 repetições, obtendo-se 40 unidades experimentais.

Os tratamentos foram: Controle (T1), Biocarvão (T2), Bioestimulante (T3) e Biocarvão e bioestimulante (T4), e os dois níveis de salinidade foram 0,2 e 4,5 dS m⁻¹ (sendo o primeiro valor de condutividade elétrica referente à água da Companhia de abastecimento do Ceará (CAGECE). Para a obtenção da salinidade 4,5 dS m⁻¹, foi adicionada uma mistura de sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O, mantendo-se a proporção equivalente de 7:2:1 respectivamente, remetendo aos estudos de Medeiros (1992) sobre os principais sais presentes nas águas do Nordeste do Brasil.

O bioestimulante utilizado foi o Naturamin[®] - WSP, composto de 80% de aminoácidos livres (Asparagina 6,25%; Alanina 4,25%; Arginina 4,90%; Cisteína 1,02%; Glutamina 9,35%; Glicina 6,80%; Histidina 1,30%; Prolina 9,90%; Valina 4,70%; Metionina 0,46%; Lisina 1,30%; Leucina 5,90%; Serina 11,58%; Tirosina 0,65%; Treonina 4,27%; Fenilalanina 4,40%; Isoleucina 3,00%). A aplicação do bioestimulante foi aos 31 e 45 DAS, via pulverização foliar na dose recomendada para a cultura do algodão. O biocarvão da casca de coco verde utilizado nesse experimento foi produzido através da pirólise à uma temperatura de 350°C a 400°C. A dose utilizada foi determinada pelo teor de potássio (K⁺) exigido pela cultura em fundação (Carvalho et al., 2011).

Para o plantio foi utilizada a cultivar FiberMax FM 985GLTP, da Basf[®] e a semeadura foi realizada em vasos de 11 dm³ de solo. O desbaste foi realizado com 10 DAS, deixando duas plantas por vaso. Aos 20 DAS foi realizada aclimação da planta ao estresse, com a salinidade de 1,5 dS m⁻¹ durante 3 dias seguidos, o estresse com a salinidade de 4,5 dS m⁻¹ foi iniciado com 23 DAS.

Durante a condução do experimento foram realizadas análises de crescimento (área foliar, número de folhas e diâmetro do caule) e índices de trocas gasosas pelo IRGA (Infrared Gas Analyzer) modelo LI-6400XT, LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, EUA. As análises de crescimento e de trocas gasosas foram realizadas nos períodos de aparecimento dos botões florais (33 DAS), florescimento pleno (47 DAS) e abertura dos capulhos (86 DAS). Ao final do experimento o material foi seco em estufa com circulação de ar forçada a até 65°C constante para quantificação da massa seca das raízes (MSR) e massa seca de folhas (MSF) e posteriormente trituradas para a extração dos íons de sódio (Na⁺) e potássio (K⁺) em fotometria de chama (Malavolta et al., 1989) utilizando a diluição dos extratos e obtendo os valores expressos em mg g⁻¹ MS tanto para folha como para raízes, podendo assim calcular a relação Na⁺/K⁺ para ambos os órgãos.

Para a análise de variância foi utilizado o software R (versão 4.0.2; R Core Team, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de íons sódio (Na^+) e potássio (K^+) deu-se em sua maioria na raiz, tanto para a condutividade $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ quanto para a $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. Isso pode ser observado na comparação dos valores da relação Na^+/K^+ da folha (Figura 1A) e da raiz (Figura 1B), onde comparando o grupo de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ temos uma relação Na^+/K^+ 26,07% maior na raiz do que na folha com valores médios na raiz e folha de $1,195 \text{ mg/g}^{-1} \text{ MS}$ e $0,896 \text{ mg/g}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente. E comparando o grupo $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ temos uma relação Na^+/K^+ 96,27% maior na raiz.

O maior acúmulo de sais nas raízes conforme Santos (2009) pode se dá ao mecanismo de tolerância e proteção da cultura ao estresse salino, objetivando a manutenção do órgão fotossinteticamente ativo e produção contínua de folhas.

Pelas comparações entre as relações Na^+/K^+ de raízes e folhas podemos sugerir uma ação atenuante nas raízes com estresse de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, principalmente no tratamento com biocarvão (T2), onde com o estresse salino obteve um valor para a relação menor que $1 \text{ mg/g}^{-1} \text{ MS}$, diferenciando-se dos outros tratamentos. Levando em consideração que valores acima de $1 \text{ mg/g}^{-1} \text{ MS}$ da relação Na^+/K^+ são valores que evidenciam altas taxas de toxicidade e desequilíbrio nutricional (Ferreira-Silva et al., 2009), levando muitos autores a relacionar a resistência a estresses ambientais de uma planta a um equilíbrio e manutenção da sua adubação potássica através de mecanismos, podendo este critério em alguns casos avaliar a escolha de materiais sensíveis ou tolerantes a determinados tipos de estresse (Maathuis & Amtmann, 1999).

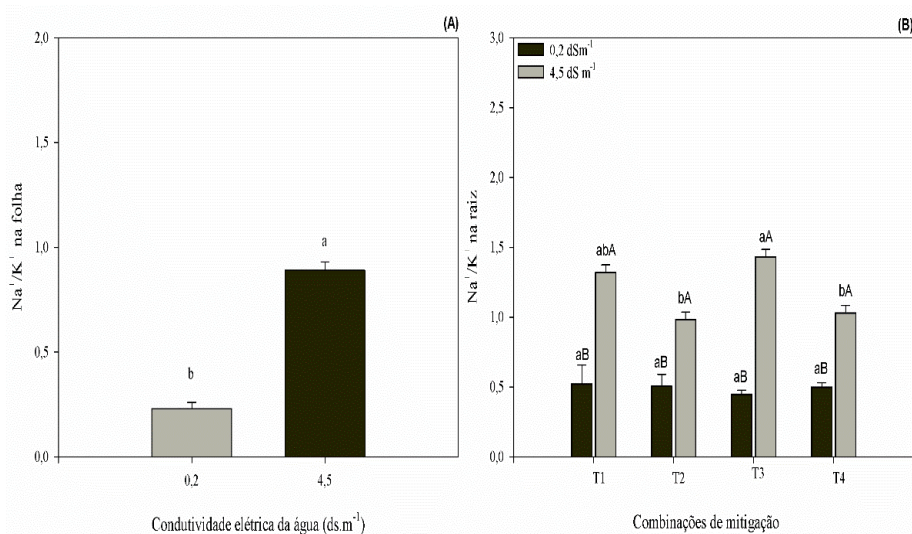


Figura 1. Relação Na^+/K^+ na folha (A), evidenciando maior acúmulo de Na^+ em folhas do tratamento com CE $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ e a relação Na^+/K^+ na raiz (B) e comparação entre os tratamentos controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e biocarvão e bioestimulante (T4) nas condutividades de $0,2$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Para os teores de Na^+ tanto na raiz (Figura 2A) quanto na folha (Figura 2B) o fator significativo foram os níveis de salinidade, sendo o teor de Na^+ na raiz três vezes maior ($11,434 \text{ mg/g}^{-1} \text{ MS}$) na CE $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, que na CE $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ ($3,418 \text{ mg/g}^{-1} \text{ MS}$), sendo não significativo em relação aos tratamentos. Já os teores de K^+ isoladamente se mostrou relevante tanto no fator condutividade elétrica quando entre os tratamentos.

A competição iônica entre Na^+/K^+ ocasiona um decréscimo na extração de K^+ pela planta. (Silva et al., 2010). Esse decréscimo pode ser explicado pelo deslocamento de Ca^{2+} nas membranas provocando o efluxo de K^+ com a entrada de Na^+ (Alves et al., 2008). Foi observado que em condições de salinidade $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ o menor valor de Na^+ em folhas, órgão fotossintetizante, se deu no tratamento combinado com biocarvão + bioestimulante (T4) evidenciando a preservação do tecido foliar. No entanto as combinações atenuantes se mostraram eficientes na extração de K^+ mesmo em condições de salinidade ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) à nível de raiz. O melhor resultado foi obtido com biocarvão (T2) seguido da combinação entre biocarvão e bioestimulante (T3). Esse resultado se dá pelo efeito significativo do biocarvão (T2) no aporte nutricional do K^+ , não necessariamente reduzindo o estresse por salinidade, mas auxiliando na extração do soluto pela planta devido ao aumento de sua concentração no solo (Liu, Y. et al., 2024).

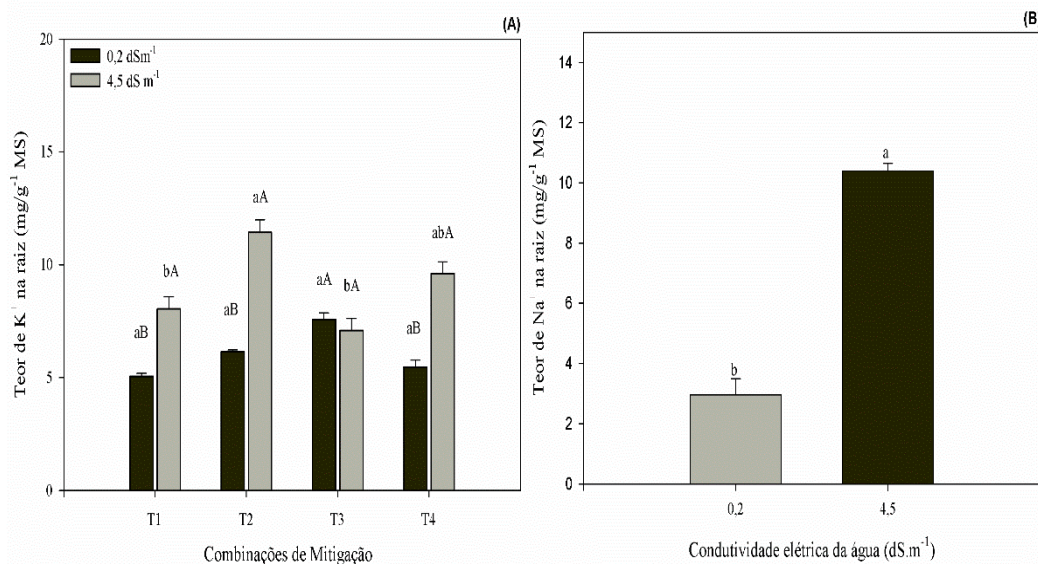


Figura 2. Comparação dos teores de K^+ nas condutividades elétricas e entre tratamentos controle (T1), biocarvão (T2), bioestimulante (T3) e biocarvão+bioestimulante (T4). (A) Teor de Na^+ nas raízes em função das salinidades (B).

CONCLUSÕES

A absorção de potássio K^+ é o fator mais afetado com o estresse salino, causando um desequilíbrio nutricional na planta, isso se dá pela maior absorção do Na^+ em detrimento do K^+ . Plantas potencialmente tolerantes ao estresse salino possuem mecanismos para equilíbrio da relação Na^+/K^+ e uso eficiente do K^+ , porém o uso de alternativas como o biocarvão tendem a reduzir o problema com uma maior eficiência na extração do K^+ , atenuando os efeitos da irrigação salina.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (INCT) em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical-INCTAGriS (CNPq/Funcap/Capes), processos 406570/2022-1 (CNPq) e Processo INCT-35960-62747.65.95/51 (Funcap).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, F. A. L.; FERREIRA-SILVA, S. L.; LIMA, J. P. S.; SILVEIRA, J. A. G. Efeitos do KCl e CaCl₂ na absorção e transporte de Na^+ em cajueiro exposto a salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.287-294, 2008.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science** 166:3-16, 2004.
- BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. latifolium Hutch.). In: BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. (orgs.). Ecofisiologia das culturas: algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal. 1. ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2011. p. 65-124.
- CAVALCANTE, W. S. DA S. et al. Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **Irriga**, v. 25, n. 4, p. 754–763, 2020.
- FERREIRA-SILVA, S. L.; VOIGT, E. L.; VIÉGAS, R. A.; PAIVA, J. R.; SILVEIRA, J. A. G. Influência de porta-enxertos na resistência de mudas de cajueiro ao estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.361-367, 2009.

HORIE, T.; SCHROEDER, J. I. Sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. **Plant Physiology**, v.136, p.2457-2462, 2004.

KHAN, Z.; JAN, R.; ASIF, S.; FAROOQ, M.; JANG, Y.H.; KIM, E.G.; KIM, N.; KIM, K.M.; Exogenous melatonin induces salt and drought stress tolerance in rice by promoting plant growth and defense system. **Scientific Reports**, v.14, n.1214, 2024.

LIMA, G. S de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L, A, A.; PINHEIRO, F. W. A.; DIAS, A. S. Crescimento, teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Comunicata Scientiae** 6(2): 212-223, 2015.

LIU, Y.; JIANG, W.; ZHAO, W.; XU, L.; WANG, M.; JIAN, J.; CHEN, X.; WANG, E.; YAN, J. Effects of biochar application on soil properties and the growth of *Melissa officinalis* L. under salt stress. **Scientia Horticulture**, v.338, 113704, 2024.

MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K^+ nutrition and Na^+ toxicity: Bases of cellular K^+/Na^+ ratios. **Annals of Botany**, v.84, p.123-133, 1999.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação utilizada nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB, CE e avaliação da salinidade dos solos**. 1992. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

OLIVEIRA, F. DE A. DE. et al., Produção do algodoeiro em função da salinidade e tratamento de sementes com regulador de crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 279–287, abr. 2012.

PAIM, T. D. P.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. M.; ABDALLA, A. L. Uso de subprodutos do algodão na nutrição de ruminantes. **Ciênc. vet. tróp**, p. 24-37, 2010.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. UFPB: Campina Grande, 2000. 117p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 48). Santos et al. (2009)

SANTOS, P.R. DOS, RUIZ, H.A., NEVES, J.C.L., FREIRE, M.B.G.S., FREIRE, F.J.. Acúmulo de cátions em dois cultivares de feijoeiro crescidos em soluções salinas. **Revista Ceres**, 2009. 56:666-678.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and

growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 2010.
Tavakkoli et al., 2012.

SILVA, R. DE A. et al. Biostimulants on mineral nutrition and fiber quality of cotton crop.
**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental/Brazilian Journal of Agricultural
and Environmental Engineering**, v. 20, n. 12, p. 1062–1066, 2016.