

Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca¹

Use of biostimulants in relieving salt stress in popcorn

Francisco de Assis de Oliveira^{2*}, José Francismar de Medeiros², Rafaela Cristina da Cunha², Maria Williane de Lima Souza² e Luan Alves Lima²

RESUMO - O uso de bioestimulantes tem se difundido na agricultura brasileira, promovendo o crescimento e aumento na produtividade das culturas, mas ainda são incipientes estudos sobre o uso destas substâncias em plantas sob estresse, principalmente sobre estresse salino. Objetivou-se avaliar o uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca. O experimento foi conduzido em ambiente protegido no *Campus* da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró-RN. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 2 x 4, referentes a dois níveis de salinidade da água de irrigação (0,5 e 4,5 dS m⁻¹) e quatro doses de bioestimulante aplicado via tratamento de sementes (0; 5; 10 e 20 mL kg⁻¹ de sementes), com cinco repetições. Utilizou-se o bioestimulante comercial Stimulate® (0,009% citocinina, 0,005% giberelina e 0,005% de auxina) e as plantas foram coletadas aos 50 dias após a semeadura. Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de plantas, diâmetro do colmo, número de folhas, área foliar, massa seca de colmo, massa seca de folhas, massa seca de raiz, massa seca de pendão, massa seca total e área foliar específica. O uso de água salina na irrigação provocou redução na maioria das variáveis de crescimento do milho doce, independentemente do tratamento de sementes com bioestimulante. O tratamento de sementes com Stimulate® promove o desenvolvimento de plantas de milho pipoca, mais não inibiu nem amenizou o efeito da salinidade sobre as plantas.

Palavras-chave: *Zea mays*. Fitorregulador. Qualidade da água.

ABSTRACT - The use of biostimulants has become widespread in Brazilian agriculture, promoting growth and increased crop yields. However, studies on the use of these substances in plants under stress are still being developed, especially for salt stress. The aim was to evaluate the use of bio-stimulants to relieve salt stress in popcorn. The experiment was carried out in a greenhouse on the campus of the Federal Rural University of the Semi-Arid in Mossoró, in the State of Rio Grande do Norte, Brazil. A completely randomised design was used, with treatments distributed in 2 x 4 factorial scheme, representing two levels of salinity of the irrigation water (0.5 and 4.5 dS m⁻¹) and four levels of biostimulant, applied by seed treatment (0, 5, 10 and 20 ml kg⁻¹ seed), with five replications. The commercial biostimulant Stimulate® was used (0.009% cytokinin, 0.005% gibberellin and 0.005% auxin), with the plants being harvested 50 days after sowing. The following variables were evaluated: plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, stem dry weight, leaf dry weight, root dry weight, tassel dry weight, total dry weight and specific leaf area. The use of saline water for irrigation caused a reduction in most growth variables in the sweet corn, regardless of seed treatment with biostimulants. Seed treatment with Stimulate® promotes development in popcorn, but did not inhibit or lessen the effect of salinity on the plants.

Key words: *Zea mays*. Phyto regulator. Water quality.

DOI: 10.5935/1806-6690.20160036

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 21/11/2014; aprovado em 05/08/2015

Projeto desenvolvido com recursos internos do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da UFERSA

²Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, Mossoró-RN, Brasil, 59.625-900, thikaoamigao@ufersa.edu.br, jfmedeir@ufersa.edu.br, rafacris_dantas@hotmail.com, williane-lima@hotmail.com, luaneafa2@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A cultura do milho destaca-se no agronegócio brasileiro como o principal cereal produzido no cenário nacional, com expectativa de produzir na safra 2014/2015 cerca de 78.985 mil toneladas de grãos, em uma área de 15,2 milhões de hectares e produtividade média de 5.208 ton ha⁻¹ (CONAB, 2015). A maior parte das áreas plantadas é cultivada com o milho comum e destinada a produção de grãos destinada à alimentação humana e a produção de ração.

Atualmente o cultivo de milhos especiais vem ganhando espaço entre os produtores, principalmente pelo preço de mercado diferenciado, a exemplo de milho doce e milho pipoca. O milho é classificado como uma espécie moderadamente tolerante à salinidade, com salinidade limiar do solo de 1,7 dS m⁻¹, com perda de rendimento na ordem de 12,0% por aumento unitário da salinidade acima desta limiar (MAAS; HOFFMAN, 1977). Na literatura são encontrados vários estudos sobre o efeito da salinidade na cultura do milho comum (CARVALHO *et al.*, 2012; GARCIA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2014). Esses autores verificaram que o aumento da salinidade do solo decorrente ao uso de água com a qualidade inferior na irrigação reduziu expressivamente a produção de matéria seca, as taxas de assimilação líquida, crescimento absoluto e relativo, área foliar total e útil, fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso de água e produtividade. No entanto, para a cultura do milho pipoca ainda são poucos os estudos enfocando o efeito da salinidade (BARBIERI *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Diante desta problemática uma série de pesquisas tem sido desenvolvida objetivando estratégias de manejo da cultura que possibilite o uso de água salina na irrigação das plantas sem que afete negativamente a produção nem a qualidade dos produtos. Dentre as tecnologia pesquisadas têm-se dado bastante ênfase a aplicação de substâncias orgânicas ou sintéticas, com a aplicação de silício (LIMA *et al.*, 2011) ou biofertilizantes (SOUSA *et al.*, 2012).

O uso de bioestimulante pode ser uma alternativa para auxiliar as plantas na superação de estresses abióticos, uma vez que atuam como incremento hormonal e nutricional. A aplicação de reguladores de crescimento nos estádios iniciais de desenvolvimento da plântula, assim como sua utilização no tratamento de sementes, pode estimular o crescimento radicular, atuando na recuperação mais acelerada das plântulas em condições desfavoráveis, tais como déficit hídrico (LANA *et al.*, 2009).

No entanto, alguns autores já relataram que o efeito benéfico de bioestimulantes tem sido inibido em plantas cultivadas sob estresse hídrico (ÁVILA *et al.*, 2010)

ou salino (BARBIERI *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2013). Diante do exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desenvolvimento inicial do milho pipoca em função do tratamento de sementes com bioestimulante Stimulate® e uso de água salina.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de maio a junho de 2014, em casa de vegetação, na área experimental do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró, RN (5°11'31" S; 37°20'40" W; altitude de 18 m).

A casa de vegetação utilizada apresenta cobertura de polietileno de baixa densidade transparente com 0,10 mm de espessura, tratada contra a ação de raios ultravioletas e em formato tipo arco, com 7,0 m de largura e 21 m de comprimento. As paredes laterais e frontais são confeccionadas com telas anti-afideos e rodapé de 0,30 m em concreto armado.

Material de solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006) foi utilizado e coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, em área não cultivada localizada no *Campus* da UFERSA. O material coletado foi secado ao ar e posteriormente peneirado em malha de 2,0 mm e analisado quimicamente (Tabela 1).

O experimento foi instalado em delineamento estatístico inteiramente casualizados, em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas salinidades da água de irrigação (0,5 e 4,5 dS m⁻¹) e quatro doses de bioestimulante Stimulate®, aplicados via tratamento de sementes (0; 5; 10 e 20 mL kg⁻¹ de sementes); com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais, representadas por um vaso com capacidade para 12 kg de solo, contendo uma planta.

A água de menor salinidade (S1-0,5 dS m⁻¹) foi proveniente do sistema de abastecimento do campus da UFERSA cujas análises físicas e químicas determinaram as seguintes características: pH = 8,30; CE = 0,50 dS m⁻¹; Ca²⁺ = 3,10; Mg²⁺ = 1,10; K⁺ = 0,30; Na⁺ = 2,30; Cl⁻ = 1,80; HCO₃⁻ = 3,00 e CO₃²⁻ = 0,20 (mmol_c L⁻¹).

Na preparação da maior salinidade (4,5 dS m⁻¹) foi adicionada uma mistura de sais de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O em água coletada no sistema de abastecimento do *campus* da UFERSA, mantendo-se a proporção equivalente de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992).

O bioestimulante utilizado foi o Stimulate®, composto da mistura de substâncias 0,005% do ácido

Tabela 1 - Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento

| Características químicas | | | | | | | | |
|---|-------------|-----------------------------|--------------------|--|------------------|---|------------------|----------------|
| pH | M.O. (%) | P (mg dm ⁻³) | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Al ⁺³ | H ⁺ |
| ------(mmol _c L ⁻³)----- | | | | | | | | |
| 6,2 | 1,05 | 2,20 | 1,40 | 1,30 | 4,00 | 6,00 | 0,50 | 10,5 |
| Características físicas | | | | | | | | |
| Fração granulométrica (g kg ⁻¹) | | | Classe textural | -----Umidade (g g ⁻¹)----- | | -----Densidade (kg dm ³)----- | | |
| Areia | Silte | Argila | | CC | PMP | Ds | Dp | |
| 707,2 | 172,2 | 120,6 | FA | 0,15 | 0,06 | 1,53 | 2,68 | |

FA - Franco Arenoso; CC - Capacidade de Campo para $\psi_m = -10$ KPa; PMP - Ponto de Murcha Permanente para $\psi_m = -1500$ KPa; Ds - Densidade do solo ou aparente; DP - Densidade de Partículas

indolbutírico (auxina), 0,009% de cinetina (citocinina) e 0,005% do ácido giberélico (giberelina), sendo o único biorregulador registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

O bioestimulante foi aplicado diretamente sobre as sementes, com auxílio de uma pipeta graduada; para tanto, as sementes foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes, que foram inflados e agitados vigorosamente durante um minuto visando uniformizar a distribuição do produto sobre a massa de sementes. Para os tratamentos que não receberam o bioestimulante via tratamento de sementes, as sementes passaram pelo mesmo procedimento substituindo o bioestimulante por água destilada; em seguida, as sementes foram colocadas para secar à sombra sobre papel toalha.

Utilizaram-se sementes de milho pipoca, híbrido Zélia, colocando-se cinco sementes em cada vaso e em dois centímetros de profundidade; aos cinco dias após a emergência realizou-se o desbaste deixando em cada vaso a planta mais vigorosa.

Adotou-se o sistema de irrigação por gotejamento utilizando-se emissores tipo microtubo. O fornecimento de água foi realizado através de reservatório (vasos plásticos com capacidade para 80 L) suspensos sobre cavaletes de forma a se obter uma carga hidráulica de 1,0 m no início de cada irrigação. Para reduzir o efeito da variação da carga hidráulica sobre a vazão dos emissores, as irrigações eram iniciadas sempre com o reservatório cheio, de forma que ao final da irrigação não ocorreu variação na vazão, de acordo com teste realizado no início do experimento. O sistema de distribuição de água foi composto de quatro linhas laterais de tubos flexíveis com diâmetro de 16 mm, uma para cada fileira de vasos, sendo instalados os microtubos nas linhas laterais, espaçados 0,5 m, correspondente a um emissor em cada vaso. Foram utilizados emissores de 0,50 m de comprimento definido em testes para estabelecimento do comprimento obtendo-se vazão média de 1,6 L h⁻¹.

Para minimizar o efeito da redução de carga hidráulica sobre a vazão dos emissores as irrigações eram iniciadas sempre com os reservatórios em sua capacidade máxima de água de forma que, para atender ao suprimento hídrico das plantas, não era necessário aplicar toda a água do reservatório. As irrigações eram suspensas após ser observado início de drenagem nos vasos, não ocorrendo fração de lixiviação significativa em nenhum dos tratamentos.

As plantas foram coletadas e analisadas aos 50 dias após a semeadura, quando se apresentavam no estágio pendoamento (VT), quando o último ramo do pendão estava completamente visível e os “cabelos” não tinham emergido. As plantas foram analisadas quanto às seguintes variáveis: altura de plantas (ALT), determinada utilizando uma trena, medindo-se a distância entre a superfície do solo e o ápice da planta; diâmetro do colmo (DC), determinada utilizando um paquímetro digital, considerando a média entre duas medidas tomadas de forma perpendiculares realizadas na seção de corte das plantas; número de folhas (NF); área foliar (AF), determinada partir de medidas lineares de comprimento e largura máxima do limbo foliar ($AF = 0,75(C \times L)$), utilizando o fator de correção 0,75 (ELINGS, 2000); massa seca de colmo (MSC), folhas (MSF), raiz (MSR), pendão (MSP) e massa seca total (MST). Para determinação da biomassa seca, o material fresco foi acondicionado em sacos de papel e posto para secar em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de 65 °C até atingir massa constante, sendo determinado em balança de precisão (0,01 g). A partir da relação entre as variáveis AF e MSF determinou-se a área foliar específica, expressa em cm² g⁻¹ de MSF.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, realizando-se o desdobramento nas variáveis que apresentaram resposta significativa à interação entre os fatores estudados. O efeito da salinidade foi avaliado aplicando-se o teste de Tukey ($p < 0,05$),

enquanto o efeito do bioestimulante foi analisado através de análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da ANOVA verificou-se efeito significativo da interação entre os fatores níveis de salinidade e bioestimulante para altura (ALT) e diâmetro do colmo (DC) em nível de 5% de probabilidade, bem como para área foliar (AF) ao nível de 1% de probabilidade, não ocorrendo resposta significativa para número de folhas (NF) ($p > 0,05$), sendo esta variável afetada apenas pelo fator salinidade. Quanto ao efeito isolado dos fatores, foi observado resposta significativa em nível de 1% para ALT, DC e AF, além de significância de 5% para NF. Com relação ao efeito isolado do fator bioestimulante, ocorreu resposta significativa apenas nas variáveis DC e AF, ambos em nível de 1% de probabilidade (Tabela 2).

Houve efeito da salinidade sobre as variáveis ALT, DC, NF e AF; e o uso de água de maior salinidade ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) provocou redução em todas essas variáveis, maiores perdas ocorrendo na ALT (40,3%) seguida pelo DC (20,6%) e AF (19,9%) em relação aos valores médios obtidos nas plantas irrigadas com água de menor salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) (Tabela 2).

Essa maior redução na AF em comparação com o NF ocorreu porque provavelmente o efeito da salinidade é mais severo na expansão limbo foliar do que sobre a emissão de novas folhas. A área foliar é um dos principais parâmetros a serem avaliados

no crescimento das plantas, uma vez que as folhas são responsáveis pelo processo fotossintético, e, conseqüentemente, maior eficiência produtiva da planta (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

De acordo com Tester e Davenport (2003) este decréscimo da área foliar, possivelmente, está relacionado com um dos mecanismos de adaptação da planta ao estresse salino, diminuindo a superfície transpirante.

Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira *et al.* (2009) trabalhando com esse mesmo híbrido de milho sobre salinidade variando de $0,5$ a 5 dS m^{-1} , os quais verificaram reduções de 16,4; 20,5; 32,7 e 40%, para ALT, DC, NF e AF, respectivamente, ao comparar os valores obtidos nos dois níveis extremos. Reduções nessas variáveis de crescimento em resposta à salinidade também foram observadas para diferentes genótipos de milho comum por outros autores (GARCIA *et al.*, 2007; SOUSA *et al.*, 2012).

Com relação ao uso de bioestimulante, verificou-se que o efeito da aplicação do Stimulate® variou de acordo com a salinidade da água de irrigação e da variável analisada (Figura 1).

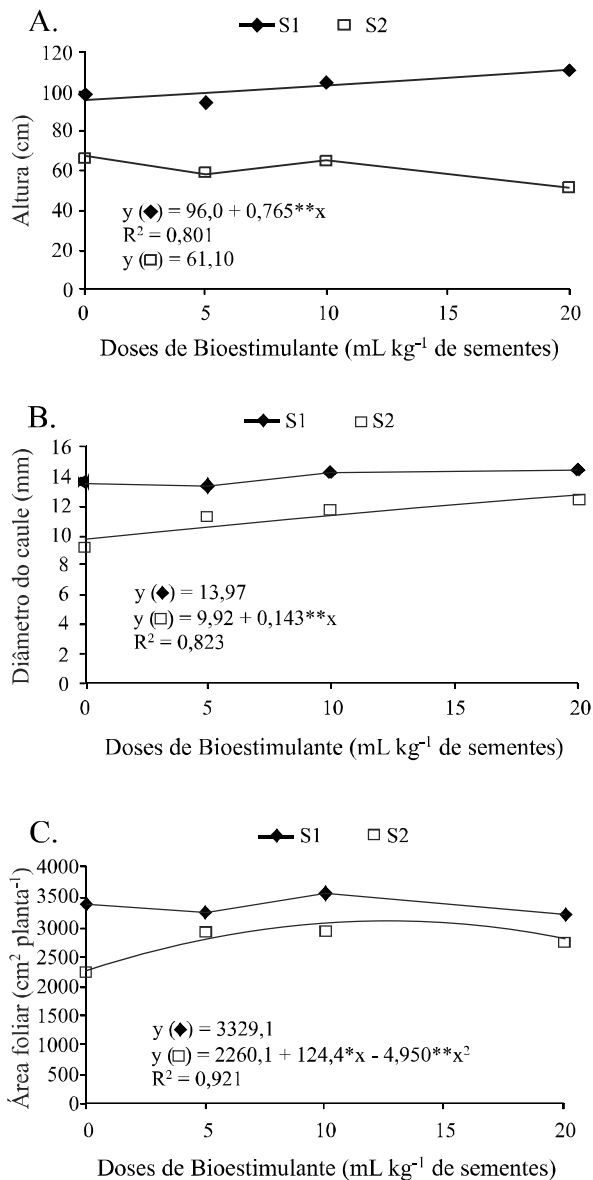
Para a variável altura das plantas (ALT), não foi observado resposta significativa ao bioestimulante na salinidade $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, obtendo-se ALT média de 61,1 cm. Ausência de resposta significativa ao bioestimulante para a altura em plantas submetidas ao estresse salino também foram observada por Barbieri *et al.* (2014) e Oliveira *et al.* (2013), para as culturas do milho e feijão caupi, respectivamente.

Tabela 2 - Resumo da ANOVA para altura de plantas (ALT), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em plantas de milho pipoca submetidas ao tratamento de sementes com bioestimulante e irrigação com águas salinas

| Fontes de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|------------------------------|----|---------------------|------------|---------------------|---|
| | | ALT | DC | NF | AF |
| Salinidade (S) | 1 | 1,731** | 83,232** | 3,600* | 3967651,91** |
| Bioestimulante (B) | 3 | 0,009 ^{ns} | 8,629** | 0,952 ^{ns} | 359267,85** |
| Interação S x B | 3 | 0,412* | 3,966* | 0,954 ^{ns} | 315124,56** |
| Resíduo | 32 | 0,010 | 1,195 | 0,484 | 60783,666 |
| CV (%) | | 11,96 | 8,68 | 7,55 | 11,03 |
| Teste de médias | | | | | |
| Níveis de Salinidade | | ALT (cm) | DC (mm) | NF (unidade) | AF (cm ² planta ⁻¹) |
| S1 = $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ | | 102,3 a# | 14,05 a | 9,51 a | 3329,80 a |
| S2 = $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ | | 61,1 b | 11,16 b | 8,81 b | 2699,91 b |

** : Significativo a 0,01 de probabilidade; * : Significativo a 0,05 de probabilidade; ns : Não significativo; # Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade

Figura 1 - Altura de planta (A), diâmetro do colmo (B) e área foliar (C) de milho pipoca em função do tratamento de sementes com bioestimulante e submetidas ao estresse salino



Por outro lado, houve aumento linear na ordem de 0,765 cm por aumento unitário nas doses do biorregulador, de forma que plantas mais altas (111,3 cm) foram obtidas na maior dose (20 mL kg⁻¹ de sementes), equivalente ao aumento de 15,9% em relação à ausência do Stimulate® (96,0 cm) (Figura 1A).

De acordo com Taiz e Zeiger (2009), aplicações de auxina e giberelina (ambos os presentes no Stimulate®) promovem o crescimento longitudinal do caule de diversas espécies, atuando tanto no alongamento como na divisão

celular e, dessa forma, promovendo o crescimento das plantas.

Para o diâmetro do colmo foi observado tendência oposta à observada para altura das plantas, não ocorrendo resposta significativa ao uso do Stimulate® na menor salinidade, obtendo-se DC médio de 13,97 mm. No entanto, nas plantas submetidas ao estresse salino ocorreu resposta significativa e linear, com aumento de 0,143 mm no DC com o aumento unitário nas doses de bioestimulante, de forma que os maiores valores ocorreram para a dose de 20 mL kg⁻¹ de sementes (12,78 mm), equivalente ao ganho de 28,8% em relação à ausência do bioestimulante (Figura 1B).

Resposta significativa da cultura do milho ao Stimulate® para o diâmetro do colmo também foi constatado por Dourado Neto *et al.* (2014), os quais obtiveram maiores valores de DC em plantas provenientes de sementes tratadas com Stimulate® 10X com a dose de 1,0 mL kg⁻¹ de sementes. Vale salientar que esses autores (DOURADO NETO *et al.*, 2014) utilizaram o produto concentrado em 10X o valor do produto utilizado no presente trabalho, o que potencializou o efeito do regulador.

Analisando as Figuras 1A e 1B em conjunto, percebe-se que houve efeito variado do uso de bioestimulante para as variáveis altura e diâmetro do colmo. Tais resultados também foram relatados por Ferraz *et al.* (2014) em mudas de maracujazeiro ‘Roxinho do Kênia’ oriundas de sementes tratadas com Stimulate®, em que esses autores verificaram que as plantas que apresentaram maior altura possuíam menor diâmetro do caule, devido a maior ação da giberelina em relação à auxina e citocinina também presentes no bioestimulante utilizado.

Não houve efeito do bioestimulante sobre o número de folhas independente da salinidade da água de irrigação, obtendo-se NF médio de 9,2 folhas por planta. Apesar de não ter ocorrido efeito do biorregulador sobre a emissão de folhas, houve resposta significativa sobre a expansão do limbo foliar (AF) apenas nas plantas submetidas ao estresse salino (4,5 dS m⁻¹), para a qual os dados apresentaram melhor ajuste ao modelo quadrático (R² = 0,921), com maior AF obtida na dose de 12,6 mL kg⁻¹ de sementes (3.041,7 cm² planta⁻¹). Na ausência de estresse salino não houve efeito do bioestimulante e foi observado AF média de 2.260,1 cm² planta⁻¹(Figura 1C).

Quanto ao efeito dos tratamentos sobre as variáveis referentes ao acúmulo de biomassa, verificou-se resposta significativa à interação dos fatores salinidade e bioestimulante para todas as variáveis, exceto para massa seca de folhas (MSF), sendo significativo em nível de 5% para massa seca de caule e em nível de 1% de probabilidade para as demais variáveis. Houve efeito

significativo ao nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis estudadas, enquanto o bioestimulante também afetou todas as variáveis, sendo a significância de 5% para massa seca de pendão (MSP) e de 1% para as demais variáveis (Tabela 3).

Todas as variáveis apresentadas na Tabela 3 foram reduzidas significativamente quando as plantas foram irrigadas com água de salinidade 4,5 dS m⁻¹, ocorrendo perdas de 60,2; 44,3; 34,1; 42,7; 46,6 e 26,7%, para MSC, MSF, MSR, MSP, MST e AFE, respectivamente (Tabela 3).

Ainda com relação a Tabela 3, pode-se observar que a massa seca da parte aérea (MSC + MSF) apresentou redução média de 53,5%, bem maior que a redução 34,1% observada para MSR. Esses dados mostram que, em milho, as raízes parecem suportar melhor a salinidade que a parte aérea, fenômeno este que pode estar associado a um ajustamento osmótico mais rápido e a uma perda de turgor mais lenta das raízes, quando comparadas com a parte aérea.

A redução da massa seca da parte aérea em plantas submetidas ao estresse salino deve-se, em parte, porque ocorre um desvio de energia em decorrência do aumento dos níveis de salinidade do solo, logo, a redução nos valores de biomassa pode ser o reflexo do custo metabólico de energia (GARCIA *et al.*, 2007).

A área foliar específica (AFE) também foi reduzida pelo aumento da salinidade, ocorrendo perda de 34,7%. Verifica-se, então, que o efeito da salinidade foi mais expressivo sobre a expansão foliar do que sobre a

produção de fitomassa, aumentando a espessura da folha (menor AFE). Essa resposta ocorreu, provavelmente, porque um dos principais efeitos da salinidade sobre as plantas é a redução na expansão foliar, que é reduzida em maior proporção que a massa seca da folha (PARIDA; DAS, 2005).

Na Figura 2A é apresentada a resposta da cultura ao bioestimulante para massa seca de colmo (MSC), na qual se observa que não houve resposta significativa para as plantas submetidas ao estresse salino, obtendo-se MSC média de 6,3 g planta⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira *et al.* (2013) em feijão caupi, os quais verificaram efeito significativo da aplicação de Stimulate[®] sobre a massa seca de caule apenas na ausência de estresse salino.

Por outro lado, houve efeito significativo para MSC apenas na ausência de estresse salino (0,5 dS m⁻¹), ocorrendo resposta quadrática (R² = 0,751) com maior valor na dose 10,3 mL kg⁻¹ de sementes (18,3 g planta⁻¹), apresentando aumento de 24,7% em comparação à ausência do biorregulador. O aumento na MSC em resposta ao tratamento e sementes com Stimulate[®] se deve às ações das substâncias presentes neste bioregulador, pois a presença de ácido giberélico, citocinina e auxina são hormônios responsáveis pela divisão celular além do primeiro promover o crescimento do caule através da diferenciação de células meristemáticas e o último induzir a diferenciação do floema e xilema (TAIZ; ZEIGER, 2009).

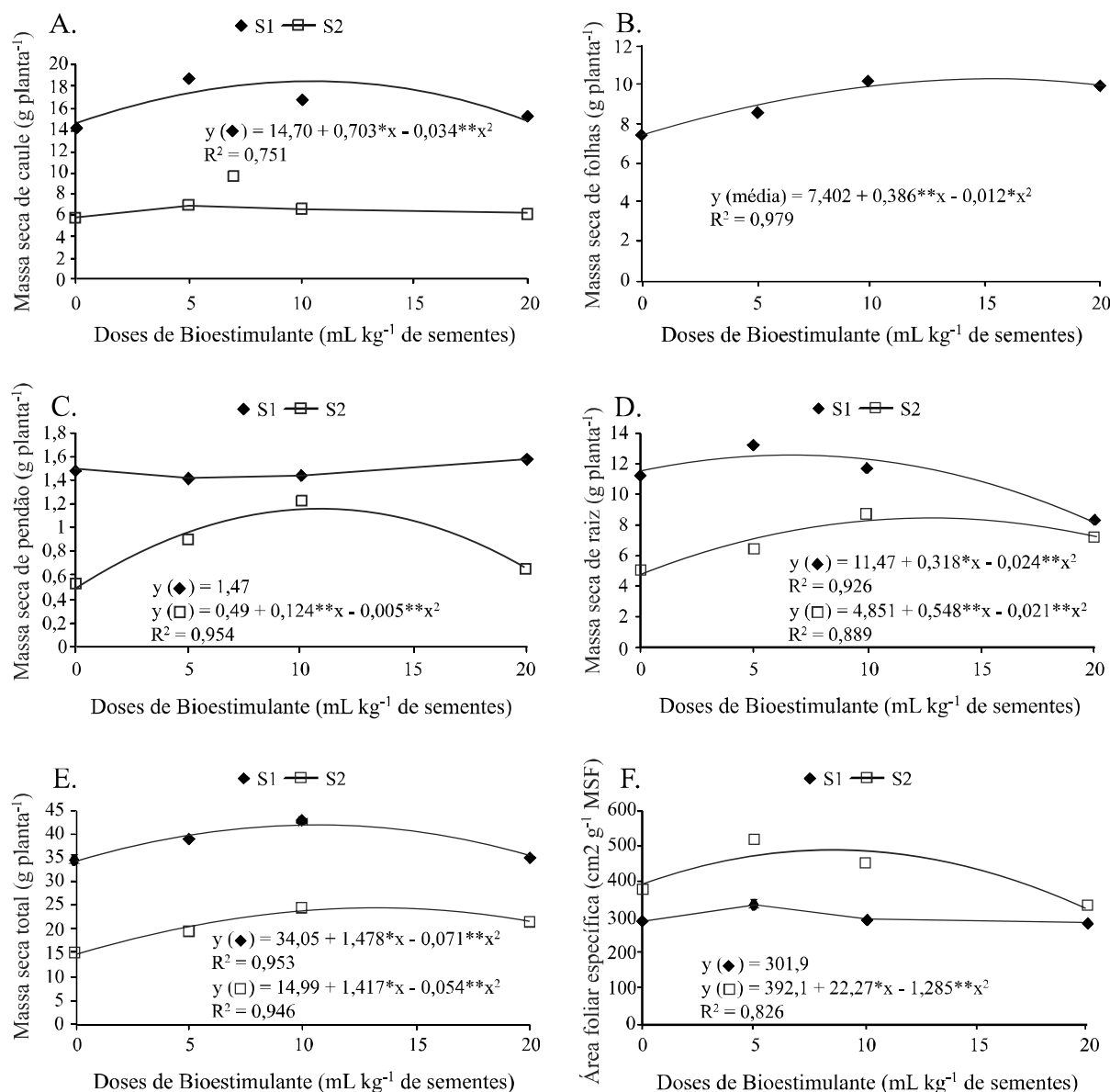
Não houve interação significativa entre os fatores estudados para a massa seca de folhas (MSF), de forma

Tabela 3 - Resumo da ANOVA para altura de plantas massa seca de colmo (MSC), folhas (MSF), raiz (MSR), pendão (MSP), massa seca total (MST), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) em plantas de milho pipoca submetidas ao tratamento de sementes com bioestimulante e irrigação com águas salinas

| Fontes de variação | GL | Quadrados médios | | | | | |
|-----------------------------|----|------------------|---------------------|---------------------------|----------|------------|---------------------------------------|
| | | MSC | MSF | MSR | MSP | MST | AFE |
| Salinidade (S) | 1 | 876,751** | 191,063** | 129,924** | 3,9919** | 3231,366** | 120963,703** |
| Bioestimulante (B) | 3 | 20,831** | 15,330** | 30,261** | 0,150* | 67,451** | 46479,941** |
| Interação S x B | 3 | 8,828* | 3,547 ^{ns} | 7,653** | 0,374** | 40,410** | 20745,367** |
| Resíduo | 32 | 1,624 | 1,696 | 0,941 | 0,045 | 6,942 | 4447,255 |
| CV (%) | | 11,87 | 14,31 | 11,34 | 18,55 | 9,18 | 18,68 |
| Níveis de Salinidade | | MSC | MSF | MSR | MSP | MST | AFE |
| | | | | (g planta ⁻¹) | | | (cm ² g ⁻¹ MSF) |
| S1 = 0,5 dS m ⁻¹ | | 15,55 #a | 11,29 a | 10,25 a | 1,45 a | 38,65 a | 411,93 a |
| S2 = 4,5 dS m ⁻¹ | | 6,19 b | 6,29 b | 6,75 b | 0,83 b | 20,65 b | 301,95 b |

** : Significativo a 0,01 de probabilidade; * : Significativo a 0,05 de probabilidade; ns : Não significativo; # Medias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade

Figura 2 - Massa seca de colmo (A), massa seca de folhas (B), massa seca de pendão (C), massa seca de raiz (D), massa seca total (E) e área foliar específica (F) de milho pipoca em função do tratamento de sementes com bioestimulante e submetidas ao estresse salino



que foi ajustada apenas uma equação de regressão para as duas salinidades. Desta forma, os dados foram ajustados à equação quadrática ($R^2 = 0,979$), com maior valor ocorrendo para a dose de 16,1 mL kg⁻¹ sementes (10,5 g planta⁻¹), correspondendo ao aumento de 29,5% em relação a MSF obtida na ausência do bioestimulante (7,4 g planta⁻¹) (Figura 2B).

Não houve resposta ao bioestimulante para massa seca de pendão (MSP) nas plantas irrigadas com água de menor salinidade, para a qual se obteve valor médio de 1,47 g planta⁻¹. Por outro lado, houve resposta significativa

de forma quadrática ($R^2 = 0,954$) nas plantas submetidas a estresse salino, com máxima MSP obtida na dose 12,4 mL kg⁻¹ de sementes (1,26 g planta⁻¹), com aumento de 156,9% em comparação com ausência de Stimulate®, para a qual obteve-se MSP de 0,49 g planta⁻¹ (Figura 1C).

Em estudo com a cultura da soja, Klahold *et al.* (2006) observaram que o tratamento de sementes com Stimulate® resultou em 67,3% na massa seca de flores. Para a cultura do pinhão manso, Ramos (2011) observou que a aplicação de Stimulate® estimulou o florescimento mais precoce e a maior produção de inflorescências

em relação à ausência deste biorregulador. Em estudo desenvolvido com a cultura do girassol Santos *et al.* (2012) constataram que além do efeito direto sobre o crescimento do girassol, a presença dos reguladores pode ter promovido a translocação de grande quantidade de assimilados e metabólitos envolvidos no florescimento, levando à precocidade no ciclo da cultura e encurtando a fase vegetativa.

Para massa seca de raiz (MSR) foram observadas respostas significativas ao bioestimulante e com efeito quadrático para ambas as salinidades, no entanto, as doses que proporcionaram os máximos valores variam de acordo com a salinidade. Assim, os maiores valores de MSR foram obtidos nas doses de 6,6 e 13,0 mL kg⁻¹, com 12,5 e 8,4 g planta⁻¹, para S1 e S2, respectivamente. Esses resultados equivalem ao aumento de aproximadamente 9,2% para S1 e 73,7% para S2. A partir destas doses ocorreu redução na MSR para as duas salinidades, de forma que na maior dose (20 mL kg⁻¹ de sementes) com perdas maiores nas plantas irrigadas com água de menor salinidade (34,3%) em relação ao obtido com a dose 6,6 mL kg⁻¹ de sementes (Figura 1D).

O efeito positivo do bioestimulante sobre o desenvolvimento radicular merece destaque, pois, de acordo com Toorchi *et al.* (2009), as plantas com maior expansão do sistema radicular tendem a ser mais resistentes aos efeitos do estresse osmótico, uma vez que a regulação da expansão foliar durante o período de exposição ao estresse ocorre em função da quantidade de água presente nas raízes, proporcionando condições para o desenvolvimento da planta.

De acordo com Dourado Neto *et al.* (2014), o efeito da auxina sobre o desenvolvimento do sistema radicular resulta em efeito positivo sobre a produção da cultura, pois plantas mais enraizadas tem maior capacidade de absorver água e sais minerais disponíveis na solução do solo, garantindo assim uma rápida alocação de substâncias para os grãos, que são drenos preferenciais das plantas, além de reduzir o índice de abortamento de embriões em caso de estresses abióticos.

Quanto ao acúmulo de massa seca total (MST), verificou-se que houve efeito significativo do aumento nas doses de bioestimulantes nas duas salinidades, com os dados apresentando melhor ajuste ao modelo quadrático para ambos os casos. As doses que proporcionaram os máximos valores de MST foram de 10,4 e 13,1 mL kg⁻¹, para as quais se obteve 41,7 e 24,3 g planta⁻¹, para S1 e S2, respectivamente. Comparando-se esses valores com os obtidos na ausência do regulador vegetal, ocorreram aumentos de 22,4% nas plantas irrigadas com água de menor salinidade (34,1 g planta⁻¹); e de 62,0% nas plantas submetidas ao estresse salino (14,9 g planta⁻¹) (Figura 1E).

O efeito do bioestimulante sobre a MST é resultante da resposta já apresentada para as demais variáveis de biomassa (MSC, MSF, MSR, MSP), e está em concordância com estudos desenvolvidos por outros autores em diferentes espécies de interesse agrônomo, como milho (BARBIERI *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2013), maracujá (ECHER *et al.*, 2006; FERRAZ *et al.*, 2014), soja (KLAHOLD *et al.*, 2006), feijão comum (ÁVILA *et al.*, 2010), entre outras.

Na Figura 2F é apresentada a resposta aos tratamentos aplicados sobre a área foliar específica (AFE), na qual se verifica que não houve efeito significativo da aplicação de Stimulate® sobre a AFE na ausência de estresse salino (0,5 dS m⁻¹), obtendo-se AFE média de 301,9 cm² g⁻¹ MSF. Por outro lado, quando as plantas foram submetidas ao estresse salino houve resposta de forma quadrática (R² = 0,826) ao aumento nas doses do bioestimulante, com maior AFE na dose 8,7 mL kg⁻¹ de sementes (488,6 cm² g⁻¹ MSF), apresentando aumento de 24,6% em relação à ausência deste biorregulador (392,1 cm² g⁻¹ MSF).

AAFE relaciona a superfície da folha (componente morfológico) com a massa seca da folha (componente anatômico) estimando a composição interna da folha (número ou tamanho de células do mesófilo foliar), indicando assim a espessura do limbo foliar. Echer *et al.* (2006) verificaram aumento na espessura foliar em mudas de maracujazeiro em resposta provenientes de sementes tratadas com Stimulate®, com maiores valores para doses de 4 a 12 mL kg⁻¹ de sementes. Estes autores também observaram que o aumento nas doses provocou redução na AFE, semelhante ao observado no presente trabalho.

Em suma, para a maioria das variáveis analisadas e que apresentaram resposta significativa ao uso de bioestimulante os melhores resultados foram obtidos em doses próximas de 10 mL kg⁻¹ de sementes, estando assim dentro do intervalo das doses recomendadas pelo fabricante, que é de 1,0 a 1,5 L kg⁻¹ de sementes, equivalente a 10 a 15 mL kg⁻¹ (Stoller do Brasil).

Constatou-se ainda que a maioria das variáveis que apresentaram resposta significativa apresentou redução quando as sementes foram tratadas com doses muito elevadas (20 mL kg⁻¹ de sementes), indicando que quantidades excessivas de bioestimulante podem provocar efeito tóxico à planta e baixo aproveitamento dos hormônios vegetais, podendo assim resultar em perda na eficiência agrônomoica do biorreguladores (LEITE *et al.*, 2009), a eficiência agrônomoica dos biorreguladores é afetada de forma significativa pela dosagem, uma vez que quantidades excessivas podem provocar efeito tóxico à planta e baixo aproveitamento dos hormônios vegetais.

CONCLUSÕES

1. O uso de água salina reduziu todas as variáveis de crescimento analisadas e independentemente do uso de bioestimulante;
2. O tratamento de sementes com bioestimulante com doses variando de 10 a 15 mL kg⁻¹ de sementes estimulou o crescimento das plantas mesmo sob estresse salino, mas não inibiu o efeito da salinidade.

REFERÊNCIAS

- ÁVILA, M. R. *et al.* Cultivo de feijoeiro no outono/inverno associado à aplicação de bioestimulante e adubo foliar na presença e ausência de irrigação. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 3, p. 221-230, 2010.
- BARBIERI, A. P. P. *et al.* Tratamento de sementes de milho sobre o desempenho de plântulas em condições de estresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 305-311, 2014.
- CARVALHO, J. F. *et al.* Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 368-374, 2012.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2014/2015. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_10_09_22_05_boletim_graos_abril_2015.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2015.
- DOURADO NETO *et al.* Ação de bioestimulante no desempenho agrônomo de milho e feijão. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 371-379, 2014.
- ECHER, M. M. *et al.* Uso de bioestimulante na formação de mudas de maracujazeiro amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 3, p. 351-360, 2006.
- ELINGS, A. Estimation of leaf area in tropical maize. **Agronomy Journal**, v. 92, n. 3, p. 436-444, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- FERRAZ, R. A. *et al.* Efeitos de bioestimulante na emergência de plântulas de maracujazeiro 'Roxinho do Kênia'. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1787-1792, 2014.
- GARCIA, G. O. *et al.* Índices fisiológicos, crescimento e produção do milho irrigado com água salina. **Irriga**, v. 12, n. 3, p. 307-325, 2007.
- KLAHOLD, C. A. *et al.* Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. **Acta Science Agronomy**, v. 28, n. 2, p. 179-185, 2006.
- LANA, A. M. Q. *et al.* Aplicação de reguladores de crescimento na cultura do feijoeiro. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, p. 13-20, 2009.
- LEITE, P. G. H. *et al.* Reguladores vegetais e atividade de invertases em cana-de-açúcar em meio de safra. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 718-725, 2009.
- LIMA, M. A. *et al.* Aplicação de silício em milho e feijão-decorda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 398-403, 2011.
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance – current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 103, p. 115-134, 1977.
- 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. A. *et al.* Desenvolvimento inicial do milho pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 149-155, 2009.
- OLIVEIRA, F. A. *et al.* Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 465-471, 2013.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.
- RAMOS, P. C. **Crescimento vegetativo de plantas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) sob diferentes tipos de reguladores de crescimento em Gurupi-TO**. 2011. 48 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2011.
- SANTOS, C. A. C. *et al.* Ação da interação cinetina, ácido indolbutírico e ácido giberélico no crescimento inicial e florescimento do girassol. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 4, p. 310-315, 2012.
- SANTOS, V. M. *et al.* Uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 307-318, 2013.
- SILVA, J. L. A. *et al.* Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. S66-S72, 2014. Suplemento.
- SOUSA, G. G. *et al.* Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 237-245, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719 p.
- TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, p. 503-527, 2003.
- TOORCHI, M. *et al.* Proteomics approach for identifying osmotic-stress-related proteins in soybeans roots. **Peptides**, v. 30, n. 12, p. 2108-2117, 2009.