

Revista  
**Ciência, Tecnologia & Ambiente**

## Efeito da combinação entre bioestimulantes na eficiência agrônômica em plantas de milho

Effect of the combination of biostimulants on the agronomic efficiency of corn plants

Augusto Marques dos Santos Lopes<sup>1</sup>, Heráclito Dias Trindade<sup>1</sup>, Daniel Baron<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Câmpus Lagoa do Sino, Buri, SP, Brasil.

\*Autor para correspondência: danielbaron@ufscar.br

**Como citar:** LOPES, A.M.S.; TRINDADE, H.D.; BARON, D., 2024. Efeito da combinação entre bioestimulantes na eficiência agrônômica em plantas de milho. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, vol. 14, e14257. https://doi.org/10.4322/2359-6643.14257

### RESUMO

O cultivo de *Zea mays* L. (milho) é considerado uma das principais fontes de alimentação humana e animal, o que tem exigido a adoção de técnicas agrônômicas cada vez mais sustentáveis e eficientes, inclusive, a partir de bioestimulantes inoculados via seminífera, bem como aplicados via foliar. Nossa proposta experimental testou a hipótese científica se plantas de milho tratadas com bioestimulantes inoculados via seminífera com bactérias nitrificantes diazotróficas *Azospirillum strain* Sp7 (0,0 e 12,5 mL.kg<sup>-1</sup>), bem como fitoreguladores auxina (AX), giberelina (GA) e citocinina (CK) (0,0, 250 e 500 mL.kg<sup>-1</sup> aplicados via foliar, em condições de cultivo a campo, apresentarão satisfatório estabelecimento de plantas e incremento na produtividade de grãos (eficiência agrônômica). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC) composto por 5 tratamentos com 5 repetições de 5 plantas cada, em que cada tratamento contou com área útil de 10,5 m<sup>2</sup>, totalizando 262,5m<sup>2</sup> de área experimental. Os dados obtidos foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste de média Tukey à nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ). Reportamos que plantas de milho tratadas com bioestimulantes em condições de cultivo a campo, desde a semeadura até o início do período reprodutivo, apresentaram satisfatório estabelecimento do *stand* de plantas, entretanto, não apresentaram incrementos na eficiência agrônômica.

**Palavra-chave:** *Azospirillum*, eficiência agrônômica, fitoreguladores, milho, sustentabilidade.

### ABSTRACT

The cultivation of *Zea mays* L. (corn) is considered one of the main sources of human and animal food, which has required the adoption of increasingly sustainable and efficient agronomic techniques, including biostimulants inoculated via seminiferous, as well as applied via foliar. Our experimental proposal tested the scientific hypothesis if corn plants treated with biostimulants inoculated via seminiferous with diazotrophic nitrifying bacteria *Azospirillum strain* Sp7 (0.0 and 12.5 mL.kg<sup>-1</sup>), as well as plant growth regulators auxin (AX), gibberellin (GA) and cytokinin (CK) (0.0, 250 and 500 mL.kg<sup>-1</sup> applied via foliar, under field cultivation conditions, will show satisfactory plant establishment and increase in grain productivity (agronomic efficiency). The experimental design used was in randomized blocks (DBC) consisting of 5 treatments with 5 replications of 5 plants each, in which each treatment had a useful area of 10.5 m<sup>2</sup>, totaling 262.5 m<sup>2</sup> of experimental area. The data obtained were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey mean test at a significance level of 5% ( $\alpha=0.05$ ). We report that corn plants treated with biostimulants in field cultivation conditions, from sowing until the beginning of the reproductive period, presented satisfactory plant stand establishment, however, they did not present increases in agronomic efficiency.

**Keywords:** *Azospirillum*, agronomic efficiency, plant growth regulators, *Zea mays* L., sustainability.



## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é considerado uma espécie vegetal de significativa importância alimentícia global, em que o Brasil foi responsável em 2023 por cerca de 124,9 milhões de toneladas desta *comodity* em cerca de 21,97 milhões de hectares (Companhia Nacional de Abastecimento, 2023). Diante do atual cenário de crescente demanda por produtos oriundos dessa espécie, produtores brasileiros têm buscado aperfeiçoar as técnicas de produção já existentes a partir de práticas agronômicas sustentáveis, economicamente viáveis e com menores riscos ambientais (Gonçalves et al., 2023).

Um dos principais fatores para se aumentar o rendimento econômico é a necessidade do vegetal expressar seu potencial fisiológico frente aos inúmeros estresses que as plantas enfrentam frequentemente e, consequentemente, potencial produtivo (Soleymani, 2018; Yang et al., 2023; Zhang et al., 2023). O emprego de técnicas agronômicas com potencial aumento de produtividade são reportadas recentemente na literatura, tais como os bioestimulantes em culturas de interesse econômico, por exemplo, o milho, arroz (*Oryza sativa* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.) (Ramzan e Younis, 2022).

As bactérias simbióticas (também descritas como associativas e/ou endofíticas facultativas) são reportadas como bioestimulantes orgânicos e possuem capacidade de colonizar qualquer tecido de raiz e parte aérea das plantas sem causar injúrias aos seus tecidos e são capazes de transformar o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) em formas químicas prontamente disponíveis aos vegetais. Além do mais, atuam na solubilização do fosfato inorgânico ( $HPO_4^-$ ), elevam o nível de biomassa nas plantas e melhoram a eficiência e uso de fertilizantes na rizosfera (Andrade et al., 2023). A literatura indica que bactérias do gênero *Azospirillum* possuem potencial de associação com espécies ‘gramíneas’ (plantas pertencentes à família botânica Poaceae) tais como milho, aveia preta (*Avena strigosa* L.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e a pastagem braquiária [*Urochloa decumbens* (Stapf.)] (Guimarães et al., 2023), em que poderá ocorrer maior absorção de nutrientes e maior rendimento na produção em cerca de 29% a depender da espécie (Ferreira et al., 2013).

O uso de insumos agrícolas formulados com bioestimulantes inorgânicos sustentáveis potencializam efeitos fisiológicos em plantas de interesse agrônômico, como exemplo, a retomada do metabolismo germinativo das sementes e, consequentemente, a uniformidade do *stand* de plantas a campo. Além disto, quando aplicada de maneira exógena em plantas cultivadas, esses bioestimulantes (reguladores vegetais) potencializam a biossíntese de fotossintatos (Stutt et al., 2018; Shah et al., 2023; Dong et al., 2024). Entre os principais bioestimulantes inorgânicos estão os reguladores vegetais auxinas (AX), giberelinas (GA) e citocininas (CK) (Al-Temimi e Al-Hilfy, 2021; Szöke et al., 2021; Azzam et al., 2022; Yan et al., 2023).

A aplicação do ácido 4-indol-3-ilbutírico (AIB, pertencente à classe hormonal das auxinas) potencializa a rizogênese (formação de raízes) pela sua ação direta por enzimas e/ou inativadas devido aos processos de crescimento, diferenciação celular, respostas tropicas a incidência de luz e a gravidade (Kandhol et al., 2024). Já, em plantas que se encontram em estadios reprodutivos, a auxina é biossintetizada em tecidos jovens dos vegetais como cotilédones, folhas em crescimento e primórdios radiculares, em que esta estrutura vegetal pode sintetizar outras formas de auxinas prontamente disponíveis ao próprio vegetal (Kasahara, 2016; Wakeman e Bennett, 2023). O emprego exógeno de GAs favorece o desenvolvimento vegetal satisfatório por promover o alongamento celular, formação de tricomas, transição de estadios vegetativos para reprodutivos e germinação de sementes (Hernández-García et al., 2021; Liang et al., 2023). Outro fitohormônio essencial para o desenvolvimento dos vegetais é a citocinina (CK), responsável por atuar na manutenção de clorofilas ativas, crescimento de caule e raiz (Hu e Shani, 2023; Sosnowski et al., 2023).

Ao considerarmos o potencial benefício para incremento da eficiência agrônômica das culturas comerciais, o uso combinado entre bioestimulantes se apresenta como técnica agrônômica candidata a potencializar a expressão fisiológica dos vegetais em ganhos e rendimento econômico de forma sustentável. Dessa forma, no presente estudo, nós testamos a hipótese científica se plantas de milho tratadas com bioestimulantes orgânicos (bactérias nitrificantes pertencentes ao gênero

*Azospirillum*) e inorgânicos (fitorreguladores promotores de crescimento, tais como auxina, giberelina e citocinina) desde a semeadura até o início do período reprodutivo, em condições de cultivo a campo, apresentarão satisfatório estabelecimento de plantas e incremento na produtividade de grãos (eficiência agrônômica).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área Experimental

O experimento foi instalado e conduzido em área agrícola com solo classificado como Latossolo vermelho férrico e com características químicas de solo satisfatórias para condução de culturas agrícolas (Tabela 1) pertencente à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) *campus* Lagoa do Sino, localizado no município de Buri-SP situado em altitude de 596 metros com as coordenadas geográficas Latitude 23°47'57" Sul e Longitude 48°35'15" Oeste] e declividade média de 3%. Segundo a classificação de Koppen, a região possui clima classificado como Cwa, caracterizado como clima tropical de altitude com estação chuvosa no verão e seca no inverno com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Além disso, a região possui amplitude térmica anual e apresenta no mês mais frio cerca de 10,1°C e temperatura mais quente em torno de 29,8°C com precipitação média anual de 1253 mm.

### Implantação e Condução Experimental

Nosso experimento utilizou como 'planta-modelo' a espécie *Zea mays* L. (milho) híbrido comercial 3646YHR (Pioneer®) com fertilização mineral utilizando-se 290 kg.ha<sup>-1</sup> do composto granulado formulado NPK 08-20-10 + micronutrientes e fertilização de cobertura com 206 kg.ha<sup>-1</sup> do formulado granulado NPK 36-00-12. A inoculação de sementes foi realizada à sombra, momentos antes da semeadura, com inoculante turfoso composto por bactérias *Azospirillum strain* Sp7 ('bioestimulante orgânico') acondicionados em sacos plásticos e, posteriormente, realizada a semeadura direta sob palhada de restos vegetais presentes na área de cultivo por

meio do auxílio de uma semeadora dotada de 9 linhas e um trator com sistema de tração assistida de 120 Cvs realizada na época de cultivo descrita como "primeira safra" (safra-verão). Durante a condução experimental, realizamos os tratos culturais e receituário agrônômico (herbicidas atrazina + simazina; fungicidas estrobilurinas e trizóis; inseticidas cipermetrina e imidacloprido) para garantir que as plantas produzam folhas expandidas fotossinteticamente ativas (estádio fenológico 'V3') para aplicação via foliar combinada dos reguladores vegetais cinetina (KT), ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) e ácido 4-indol-3-ilbutírico (IBA) ('bioestimulantes inorgânicos') disponibilizados por meio do produto comercial Stimulate (Stoller-do-Brasil®). Segue a descrição dos tratamentos aplicados: (T1) sementes tratadas com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (Testemunha); (T2) sementes tratadas com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T3) sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T4) sementes com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de semente de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T5) sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 500 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar.

### Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC) composto por 5 tratamentos com 5 repetições de 5 plantas cada, em que cada tratamento contou com área útil de 10,5 m<sup>2</sup>, totalizando 262,5m<sup>2</sup> de área experimental.

### Avaliações das Dimensões Lineares de Crescimento Pré-colheita de Grãos, Massa de Matéria Seca e Eficiência Agrônômica

Nós realizamos a aferição da Altura (cm) e o Diâmetro (mm) das plantas de milho em duas épocas. A primeira coleta de dados de crescimento foi realizada quando as plantas de milho atingiram o estágio fenológico 'V4' (22 dias após a semeadura, DAS). Já, no segundo momento, avaliamos além dos parâmetros já descritos, a

**Tabela 1.** Análise química do solo da experimental pertencente à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) *campus* Lagoa do Sino (Buri-SP).

P resina	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	AL	SB	CTC	V	m
Mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>				mmol/dm <sup>3</sup>					%	%
50	27	5,0	5	32	18	45	0,7	55	99,9	55	1,3

Altura da inserção das espigas realizado quando as plantas iniciaram o período reprodutivo 'R1', com emissão de inflorescência (62 DAS). Aos 153 DAS foram coletados os órgãos vegetativos, armazenados em sacos de papel e mantidos em estufa de secagem com ventilação forçada de ar por 72 horas ininterruptas a 65°C (Benincasa, 2003) para obtenção da Massa de Matéria seca de Parte Aérea (M.S.P.A) e de Massa de Matéria Seca de Parte Radicular (M.S.P.R.). No momento da coleta das raízes, as mesmas foram cuidadosamente retiradas do solo e imediatamente lavadas com água corrente a fim de retirar torrões e demais impurezas. A colheita dos grãos de milho foi realizada a partir do momento que os mesmos atingiram a maturidade fisiológica e umidade em torno de 18% de base úmida (18%b.u.) (153 DAS). Após atingirem o referido estágio fenológico, realizamos a colheita manual com debulha dos grãos utilizando-se o equipamento debulhador elétrico (Trapp®) e, por fim, realizamos a estimativa de produtividade de grãos, em sacas de milho de 60 kg.ha<sup>-1</sup>.

#### Análise e Processamento dos Resultados

Os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade entre as variâncias, e ao atender as pressuposições estatísticas (homocedasticidade entre as variâncias), os mesmos foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA) e, quando necessário, suas médias foram comparadas pelo teste de média Tukey, à nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ), conforme recomendações de Pinho e Mischan (1996).

## RESULTADOS

Sementes de milho inoculadas com *Azospirillum* e, posteriormente, com a aplicação exógena de fitorreguladores via foliar favoreceram o diâmetro de colmo das plantas nos estágios iniciais de desenvolvimento até o estágio fenológico 'V4'. Reportamos, ainda, que sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 500 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T5) proporcionou maiores valores para essa medida em relação à sementes tratadas com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T2) e sementes tratadas com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (Testemunha). Todavia, plantas oriundas de sementes com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de semente de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T4) apresentaram maior diâmetro do colmo comparado às plantas Testemunhas (Tabela 2). Em relação aos valores de altura de plantas, nós observamos diferenças entre os diferentes tratamentos avaliados no estágio fenológico 'V4', em que plantas de milho oriundas de sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T3) apresentaram maior altura em relação as plantas testemunhas. Já, para a variável 'Diâmetro de colmo' no Estágio Fenológico 'R1' (pendoamento), sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T3) não diferiram das sementes tratadas com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T2), sementes com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de semente de *Azospirillum*

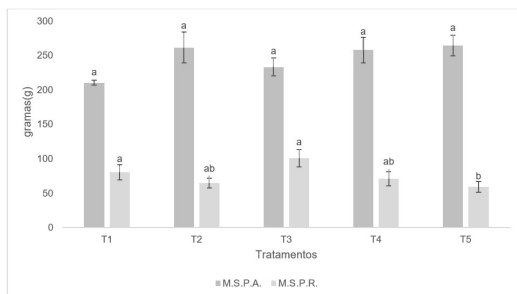
**Tabela 2.** Diâmetro do colmo, Altura de plantas e da inserção de espigas de plantas de milho (*Zea mays* L.) híbrido 3646YHR cultivado em área experimental pertencente à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) campus Lagoa do Sino (Buri-SP).

tratamento	Diâmetro de colmo (mm) 22 DAS	Diâmetro de colmo (mm) 62 DAS	Altura de plantas (cm) 22 DAS	Altura da inserção das espigas (cm) 62 DAS
T1	57,12 ± 4,06 <sup>b</sup>	81,28 ± 5,01 <sup>c</sup>	52,28 ± 3,72 <sup>a</sup>	204,12 ± 11,58 <sup>a</sup>
T2	64,12 ± 4,11 <sup>a</sup>	83,44 ± 8,51 <sup>bc</sup>	50,36 ± 1,67 <sup>a</sup>	198,32 ± 11,05 <sup>a</sup>
T3	63,64 ± 4,81 <sup>ab</sup>	87,60 ± 8,59 <sup>ab</sup>	50,04 ± 4,57 <sup>a</sup>	210,08 ± 14,57 <sup>a</sup>
T4	64,44 ± 5,89 <sup>a</sup>	88,60 ± 8,99 <sup>ab</sup>	49,32 ± 1,62 <sup>ab</sup>	209,32 ± 21,41 <sup>a</sup>
T5	62,48 ± 3,85 <sup>ab</sup>	89,32 ± 7,95 <sup>a</sup>	47,88 ± 3,40 <sup>b</sup>	207,88 ± 17,33 <sup>a</sup>
C.V.	7,87	7,88	10,42	7,87
Teste F	2,22	2,46	2,37	2,22

(T1) sementes tratadas com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (testemunha); (T2) sementes tratadas com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T3) sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T4) sementes com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de semente de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T5) sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 500 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; DAS (dias após a semeadura); C.V. (coeficiente de variação); Letras minúsculas iguais compararam plantas de diferentes tratamentos que não diferiram pelo teste Tukey a 5% ( $p \leq 0.05$ ).

+ 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T4) e sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T5), contudo, somente sementes tratadas com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T2) foram maiores que as plantas Testemunhas (Tabela 2).

Em relação ao Estágio Fenológico ‘R1’ a ‘Altura de inserção das espigas’ aferida na distância entre a superfície do solo e a inserção da espiga superior, no entanto os tratamentos não diferiram entre si (Tabela 2). Em relação a eficiência agrônômica (produtividade econômica) não houve incremento em plantas inoculadas com *Azospirillum* e pulverizadas com fitoreguladores em relação a testemunha. Referente aos dados de massa de matéria seca de parte aérea (M.S.P.A.), os tratamentos aplicados não diferem entre si ( $p > 0,05$ ). Já para aos dados de massa de matéria seca de raiz (M.S.P.R.) a testemunha se destacou em relação à sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 500 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (T5), contudo, os demais tratamentos não diferem da Testemunha (Figura 1). Em relação à eficiência agrônômica, a produtividade econômica (baseada em

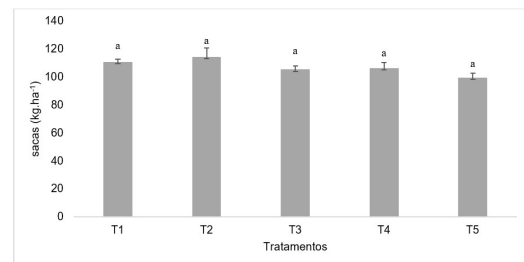


**Figura 1.** Massa de Matéria Seca de Parte Aérea (M.S.P.A.) e Massa de Matéria Seca de Parte Radicular (M.S.P.R.) mensuradas em plantas de milho (*Zea mays* L.) híbrido comercial 3646YH (Pioneer®) cultivado em área experimental pertencente à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) campus Lagoa do Sino (Buri-SP) durante a colheita de grãos aos 153 DAS (18%b.u.). (T1) sementes tratadas com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (testemunha); (T2) sementes tratadas com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T3) sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T4) sementes com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de semente de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T5) sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 500 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar. Letras minúsculas iguais compararam plantas de diferentes tratamentos que não diferiram pelo teste Tukey a 5% ( $p \leq 0,05$ ).

sacas de 60 kg.ha<sup>-1</sup>) reportada em nosso estudo indica que não houve diferença ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos aplicados (Figura 2).

## DISCUSSÃO

Observamos que plantas de milho tratadas com bioestimulantes inorgânicos possuem maior altura em relação aos demais tratamentos no estágio fenológico ‘V4’. Tal efeito reportado neste estudo é indicativo de que o balanço hormonal vegetal, após a aplicação exógena, promoveu crescimento de plantas de milho com 22 DAS, efeito fisiológico descrito como papel proeminente do regulador vegetal auxina (AX) (Werner et al., 2001; Li et al., 2021). Nossos achados indicam que plantas de milho apresentam tamanhos semelhantes entre si ao atingirem o estágio reprodutivo, fisiológico, de tal maneira que a competição por luz solar entre plantas, associado com o estímulo da dominância apical, resultem em indivíduos vegetais com tamanhos semelhantes entre si (Courbier e Pierik, 2019; Cazarim et al., 2023). O crescimento vegetal e, conseqüentemente, o desenvolvimento vegetal é diretamente responsivo à fitoreguladores promotores de crescimento, seja no estágio vegetativo quanto no estágio reprodutivo, uma vez que plantas submetidas a



**Figura 2.** Eficiência Agrônômica (produtividade de 60 kg.ha<sup>-1</sup>) de plantas de milho (*Zea mays* L.) Pioneer 3646YH cultivado em área experimental pertencente à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) campus Lagoa do Sino (Buri-SP) durante a colheita de grãos aos 153 DAS. (T1) sementes tratadas com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar (testemunha); (T2) sementes tratadas com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 0,0 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T3) sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T4) sementes com 12,5 mL.kg<sup>-1</sup> de semente de *Azospirillum* + 250 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar; (T5) sementes com 0,0 mL.kg<sup>-1</sup> de *Azospirillum* + 500 mL.ha<sup>-1</sup> de reguladores vegetais via foliar. Letras minúsculas iguais compararam plantas de diferentes tratamentos que não diferiram pelo teste Tukey a 5%.



aplicação exógena de auxinas, giberelinas e citocininas estimulam a divisão celular, o alongamento do caule por meio da diferenciação de células meristemáticas e também a diferenciação dos tecidos vasculares (xilema e do floema) (Rademacher, 2015; Yan et al., 2023).

Por outro lado, a produtividade de grãos (eficiência econômica) se mostrou limitante, possivelmente, pelo sombreamento promovido entre as plantas. O espaçamento 'entre linhas' interfere diretamente na interceptação da radiação luminosa e, conseqüentemente, inevitável decréscimo na eficiência fotossintética (Argenta et al., 2001; Dias et al., 2019). Em contrapartida, estudo de Hungria e colaboradores (Hungria et al., 2010) avaliaram plantas de milho tratadas com *Azospirillum* e obtiveram incrementos na produtividade de milho em torno de 30% com relação ao controle sem inoculação dessa bactéria. Porém, em relação à produtividade em sacas de 60kg por ha, não houve diferença entre os tratamentos assim como relatado em outros estudos sobre o uso de organismos infectando as raízes (Cavallet et al., 2000; Kolling et al., 2016).

Indivíduos vegetais ao serem manejados de forma satisfatória (ex.: rigorosos monitoramento e controle de insetos-pragas, doenças, disponibilidade hídrica, suplementação mineral, etc.) são estimulados a expressarem seu potencial fisiológico de desenvolvimento por meio de um 'delicado' balanço hormonal vegetal garantindo, assim, que as plantas expressem fenótipos semelhantes em produtividade econômica. Importante destacar que o cultivo comercial de milho em áreas manejadas com menor pressão de estresses bióticos/abióticos resultam em eficiência agrônômica semelhante entre indivíduos vegetais com ou sem aplicação de insumos sustentáveis, tais como o mineral silício (Si) (Dos santos et al., 2019). Esses mesmos autores reportaram que as trocas gasosas são iguais entre plantas tratadas e não tratadas com Si, pois, plantas sob baixo ou moderado estresse conseguem manter sua taxa fotossintética satisfatória, sem se valerem das características do Si para lhe auxiliar a superar as condições de estresse.

Plantas submetidas à estresses bióticos (ex.: herbívorias e doenças foliares/radiculares) e abióticos (ex.: seca, temperatura, presença de metais pesados) ajustam seu metabolismo (via fitohormônios) para a inibir o crescimento celular, direcionar seus metabólitos a fim de se desintoxicar e, assim, tolerar as condições estressantes (Ali et al., 2018; Shuo et al., 2023).

Assim, especulamos que o cultivo comercial de milho em condições com reduzida pressão de ataque de patógenos e/ou condições ambientais locais satisfatórias (menor estresse biótico e abiótico, respectivamente) garantem que o balanço hormonal se mantenha satisfatório para a promoção do crescimento celular, pois, o efeito benéfico com suplementação de bioestimulantes só seria relevante se as plantas fossem cultivadas em condições desfavoráveis para seu pleno desenvolvimento vegetativo e/ou reprodutivo. Portanto, plantas com eficiência agrônômica semelhante entre indivíduos vegetais numa mesma condição de cultivo, tratados ou não tratados com bioestimulantes, demonstram ser uma característica em plantas de milho.

## CONCLUSÃO

A partir de nossa hipótese testada, os dados reportados nos levam a aceitá-la parcialmente, pois, plantas de milho tratadas com bioestimulantes orgânicos e inorgânicos, desde a sua sementeira até o início do período reprodutivo, apresentaram balanço hormonal requerido para o estabelecimento do *stand* de plantas em condições de cultivo a campo, entretanto, a eficiência agrônômica não foi incrementada em plantas tratadas com os bioestimulantes orgânicos e inorgânicos.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) *campus* Lagoa do Sino e ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica (CNPq) pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- Ali, E., Hussain, N., Shamsi, I.H., Jabeen, Z., Siddiqui, M.H. & Jiang, L.-X., 2018. Role of jasmonic acid in improving tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) to Cd toxicity. *Journal of Zhejiang University. Science. B.*, vol. 19, no. 2, pp. 130-146. <http://doi.org/10.1631/jzus.B1700191>. PMID:29405041.
- Al-Temimi, A.H.M. & Al-Hilfy, I.H.H., 2021. Efeito da aplicação de bioestimulantes nos parâmetros agrônômicos de variedades de milho. *Agrária*, vol. 16, no. 2, pp. 1-6. <http://doi.org/10.5039/agraria.v16i2a9257>.
- Andrade, L.A., Santos, C.H.B., Frezarin, E.T., Sales, L.R. & Rigobelo, E.C., 2023. Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agricultural production.

- Microorganisms*, vol. 11, no. 4, pp. 1088e. <http://doi.org/10.3390/microorganisms11041088>. PMID:37110511.
- Argenta, G., Silva, P.R.F.D. & Sangoi, L., 2001. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. *Ciência Rural*, vol. 31, no. 6, pp. 1075-1084. <http://doi.org/10.1590/S0103-84782001000600027>.
- Azzam, C.R., Zaki, S.N.S., Bamagoos, A.A., Rady, M.M. & Alharby, H.F., 2022. Soaking maize seeds in zeatin-type cytokinin biostimulators improves salt tolerance by enhancing the antioxidant system and photosynthetic efficiency. *Plants*, vol. 11, no. 8, pp. 1004e. <http://doi.org/10.3390/plants11081004>. PMID:35448732.
- Benincasa, M.M.P., 2003. *Análise de crescimento de plantas (noções básicas)*. Brasília: Fundação Nacional de Ensino e Pesquisa. 41 p.
- Cavallet, L.E., Pessoa, A.C.S., Helmich, J.J., Helmich, P.R. & Ost, C.F., 2000. Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum* spp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 4, no. 1, pp. 129-132. <http://doi.org/10.1590/S1415-43662000000100024>.
- Cazarim, P.H., Shimizu, G.D., Fantin, L.H., Silva, M.A.A. & Zucareli, C., 2023. Grain yield performance of corn in different plant arrangements. *Revista Caatinga*, vol. 36, no. 3, pp. 532-5422. <http://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n306rc>.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2023 [acesso em 15 setembro 2023]. *Produção de grãos está estimada em 312,5 milhões de toneladas na safra 2022/23* [online]. Brasília. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4971-producao-de-graos-esta-estimada-em-312-5-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>
- Courbier, S. & Pierik, R., 2019. Canopy light quality modulates stress responses in plants. *iScience*, vol. 22, no. 20, pp. 441-452. <http://doi.org/10.1016/j.isci.2019.11.035>. PMID:31816531.
- Dias, F.S., Rezende, W.M., Zuffo, L.T., Caixeta, D.G., Massensini, M.A., Ribeiro JUNIOR, J.I. & Delima, R.O., 2019. Agronomic responses of maize hybrids to row spacing and plant population in the summer and winter seasons in Brazil. *Agronomy Journal*, vol. 111, no. 6, pp. 3119-3129. <http://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0765>.
- Dong, H., Li, F., Xuan, X., Ahiakpa, J.K., Tao, J., Zhang, X., Ge, P., Wang, Y., Gai, W. & Zhang, Y., 2024. The genetic basis and improvement of photosynthesis in tomato. *Horticultural Plant Journal*. <http://doi.org/10.1016/j.hpj.2023.06.007>.
- Ferreira, A.S., Pires, R.R., Rabelo, P.G., Oliveira, R.C., Luz, J.M.Q. & Brito, C.H., 2013. Implications of *Azospirillum* brasilense inoculation and nutrient addition on maize in soils of the Brazilian Cerrado under greenhouse and field conditions. *Applied Soil Ecology*, vol. 72, pp. 103-108. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.05.020>.
- Gonçalves, A., Gessi, C., Prevedel, C.D.; Oliveira, O.H., Fachinello, R. 2023. Doses de *Azospirillum* brasilense em milho solteiro e consorciado com braquiária em diferentes solos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 18, no. 2, pp. e3097. <https://doi.org/10.5039/agraria.v18i2a3097>.
- Guimarães, A.G., Ceccon, G., Capristo, D.P., Oliveira, O.H. & Fachinelli, R., 2023. Doses de *Azospirillum* brasilense em milho solteiro e consorciado com braquiária em diferentes solos. *Agrária*, vol. 18, no. 2, pp. e3097. <http://doi.org/10.5039/agraria.v18i2a3097>.
- Hernández-García, J., Briones-Moreno, A. & Blázquez, M.A., 2021. Origin and evolution of gibberellin signaling and metabolism in plants. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, vol. 109, pp. 46-54. <http://doi.org/10.1016/j.semcd.2020.04.009>. PMID:32414681.
- Hu, Y. & Shani, E., 2023. Cytokinin activity – transport and homeostasis at the whole plant, cell, and subcellular levels. *The New Phytologist*, vol. 239, no. 5, pp. 1603-1608. <http://doi.org/10.1111/nph.19001>. PMID:37243527.
- Hungria, M., Campo, R.J., Souza, E.M. & Pedrosa, F.O., 2010. Inoculation with selected strains of *Azospirillum* brasilense and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, vol. 331, no. 1-2, pp. 413-425. <http://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>.
- Kandhol, N., Srivastava, A., Rai, P., Sharma, S., Pandey, S., Singh, V.P. & Tripathi, D.K., 2024. Cytokinin and indole-3-acetic acid crosstalk is indispensable for silicon mediated chromium stress tolerance in roots of wheat seedlings. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 468, pp. 133134. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133134>. PMID:38387171.

- Kasahara, H., 2016. Current aspects of auxin biosynthesis in plants. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, vol. 80, no. 1, pp. 34-42. <http://doi.org/10.1080/09168451.2015.1086259>. PMID:26364770.
- Kolling, D.F., Sangoi, L., De Souza, C.A., Schenatto, D.E., Giordani, W. & Boniatti, C.M., 2016. Tratamento de sementes com bioestimulante ao milho submetido a diferentes variabilidades na distribuição espacial das plantas. *Ciência Rural*, vol. 46, no. 2, pp. 248-253. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150504>.
- Li, S.M., Zheng, H.X., Zhang, X.S. & Sui, N., 2021. Cytokinins as central regulators during plant growth and stress response. *Plant Cell Reports*, vol. 40, no. 2, pp. 271-282. <http://doi.org/10.1007/s00299-020-02612-1>. PMID:33025178.
- Liang, B., Cao, J., Wang, R., Fan, C., Wang, W., Hu, X., He, R. & Tai, F., 2023. ZmCIPK32 positively regulates germination of stressed seeds via gibberellin signal. *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 199, pp. 107716. <http://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107716>. PMID:37116226.
- Pinho, S.Z.D. & Mischán, M.M., 1996. Análise de regressão em experimentos em parcelas subdivididas com dados não-balanceados: uma solução na linguagem GLIM. *Scientia Agrícola*, vol. 53, no. 1, pp. 131-137. <http://doi.org/10.1590/S0103-90161996000100019>.
- Rademacher, W., 2015. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 34, no. 4, pp. 845-872. <http://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>.
- Ramzan, F. & Younis, A., 2022. Chapter 20 - Use of biostimulants in tolerance of drought stress in agricultural crops. In: T. Aftab & M. Naeem, eds. *Emerging plant growth regulators in agriculture*. Cambridge: Academic Press, pp. 429-446 <http://doi.org/10.1016/B978-0-323-91005-7.00001-1>.
- Santos, R.C., Souza, M.D., Cruz, G.M. & Baron, D., 2019. Is silicon capable to affect the photosynthetic performance of green maize plants? *African Journal of Agricultural Research*, vol. 14, no. 30, pp. 1279-1287. <http://doi.org/10.5897/AJAR2019.14160>.
- Shah, S.H., Shaistul, I., Saud, A., Parrey, Z.A., Mohammad, F. & Kalaji, H.M., 2023. Plant growth regulators mediated changes in the growth, photosynthesis, nutrient acquisition and productivity of Mustard. *Agriculture*, vol. 13, no. 3, pp. 570. <http://doi.org/10.3390/agriculture13030570>.
- Shuo, Z., Fu, K., Gao, S., Liang, B., Lu, J. & Fu, G., 2023. Bioaccumulation of heavy metals in the water, sediment, and organisms from the sea ranching areas of haizhou bay in China. *Water (Basel)*, vol. 15, no. 12, pp. 2218. <http://doi.org/10.3390/w15122218>.
- Soleymani, A., 2018. Corn (*Zea mays* L.) yield and yield components as affected by light properties in response to plant parameters and N fertilization. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 15, pp. 173-180. <http://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.06.011>.
- Sosnowski, J., Truba, M. & Vasileva, V., 2023. The Impact of Auxin and Cytokinin on the Growth and Development of Selected Crops. *Agriculture*, vol. 13, no. 3, pp. 724. <http://doi.org/10.3390/agriculture13030724>.
- Stutts, L., Wang, Y. & Stapleton, A.E., 2018. Plant growth regulators ameliorate or exacerbate abiotic, biotic and combined stress interaction effects on *Zea mays* kernel weight with inbred-specific patterns. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 147, pp. 179-188. <http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.12.012>.
- Szöke, L., Makoena, J.M., Kovács, G.E., Biró, G., Radócz, L., Hájos, M.T., Kovács, B., Rác, D., Danter, M. & Tóth, B., 2021. The Application of Phytohormones as Biostimulants in Corn Smut Infected Hungarian Sweet and Fodder Corn Hybrids. *Plants*, vol. 10, no. 9, pp. 1822. <http://doi.org/10.3390/plants10091822>. PMID:34579355.
- Wakeman, A. & Bennett, T., 2023. Auxins and grass shoot architecture: how the most important hormone makes the most important plants. *Journal of Experimental Botany*, vol. 74, no. 22, pp. 6975-6988. <http://doi.org/10.1093/jxb/erad288>. PMID:37474124.
- Werner, T., Motyka, V., Strnad, M. & Schmillig, T., 2001. Regulation of plant growth by cytokinin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 98, no. 18, pp. 10487-10492. <http://doi.org/10.1073/pnas.171304098>. PMID:11504909.
- Yan, H., Yang, Z., Chen, S. & Wu, J., 2023. Exploration and development of artificially synthesized plant growth regulators. *Advanced Agrochem*, vol. 3, no. 1, pp. 47-56. <http://doi.org/10.1016/j.aac.2023.07.008>.



Yang, F., Zhang, D., Zhang, Y., Zhang, Y., Han, Y., Zhang, Q., Zhang, Q., Zhang, C., Liu, Z. & Wang, K., 2023. Prediction of corn variety yield with attribute-missing data via graph neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 211, pp. 108046. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108046>.

Zhang, Y., Xiaowei, D., Chen, Z., Hou, G., 2023. A study on the physiological parameters of corn during the jointing stage of growth under soil water stress based on the PSII light quantum yield (QY). *HydroResearch*, vol. 6, pp. 177-183. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.04.002>.