



Desempenho de bactérias diazotróficas aplicadas em tratamento de sementes e foliar na cultura do milho no Arenito Caiuá

Mauro Gomes da Silva Junior¹, Valdir Zucarelli², Glaucia Leticia Sete da Cruz³, Thiago Komuro Moriyama³, Francisco José Cedorak de Lima⁴, Juliana Parisotto Poletine²



<https://doi.org/10.36557/2009-3578.2025v11n2p3081-3110>

Artigo recebido em 17 de Julho e publicado em 17 de Setembro de 2025

ARTIGO ORIGINAL

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação via sementes e aplicação foliar de *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, isolados ou combinados, sobre características vegetativas e produtivas do milho na região Noroeste do estado do Paraná. O estudo foi conduzido em duas safras, em experimentos em parcelas subdivididas, no qual as parcelas principais foram constituídas pelos tratamentos de sementes e as subparcelas por aplicação foliar ou não. Foram utilizados quatro tratamentos de sementes [testemunha; *Azospirillum*; solubilizador de P (*B. subtilis* e *B. megaterium*); *Azospirillum brasilense* + solubilizador de P] e as aplicações foliares (com e sem *Azospirillum brasilense*), em blocos casualizados com três repetições. Foram avaliadas variáveis morfoagronômicas, relacionadas à produtividade e teor de clorofila. No Ensaio 1, a coinoculação associada à aplicação foliar apresentou a maior massa seca de espiga (135,24 g) e colmo (324,32 g), superando a testemunha em 86% e 25%, respectivamente. O diâmetro de colmo atingiu 29,69 mm frente a 23,36 mm na testemunha, enquanto o comprimento de espiga foi de 13,36 cm. No Ensaio 2, a massa seca de espiga alcançou valores de 198,22 g contra 95,70 g e a massa seca de colmo foi de 310,41 g, com aplicação foliar em contraste com valores de 121,94 g sem aplicação, além de comprimento de espiga de 22,33 cm, até 10% superior à testemunha. Esses resultados demonstram que a combinação entre inoculação de sementes com *Bacillus* e aplicação foliar com *A. brasilense* potencializa o desempenho agrônomo da cultura do milho, promovendo ganhos em biomassa e nas variáveis biométricas, com consistência entre safras e potencial para reduzir o uso de fertilizantes minerais.

Palavras-chave: *Zea mays* L., coinoculação, bactérias promotoras do crescimento, agricultura sustentável.



Performance of diazotropic bactéria applied as seed and foliar treatments in maize grown in Arenito Caiuá

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of seed inoculation and foliar application of *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, and *Bacillus megaterium*, isolated alone or in combination, on corn vegetative and productive characteristics in the Northwest Region of Parana State. The study was conducted in two crop seasons, in split-plots experiment, in what the main plots consisted of seed treatments and subplots consisted of foliar application or not. Four seed treatments were used [control; *Azospirillum*; P solubilizer (*B. subtilis* and *B. megaterium*); *Azospirillum brasilense* + P solubilizer] and foliar applications (with and without *Azospirillum brasilense*) in a randomized complete block design with three replications. Morphological and agronomic variables related to grain yield and chlorophyll content was evaluated. In Trial 1, co-inoculation associated with foliar application showed the highest ear dry mass (135.24 g) and stalk dry mass (324.32 g), surpassing the control by 86% and 25%, respectively. Stalk diameter reached 29.69 mm compared to 23.36 mm in control, while ear length was around 13.36 cm. In Trial 2, ear dry mass reached values of 198.22 g compared to 95.70 g and stalk dry mass was 310.41 g, with foliar application in contrast to values of 121.94 g without application, in addition to an ear length of 22.33 cm, up to 10% higher than control. These results demonstrate that the combination of seed inoculation with *Bacillus* and foliar application with *A. brasilense* enhances the agronomic performance of corn crops, promoting gains in biomass and biometric variables, with consistency between harvests and the potential to reduce the use of mineral fertilizers.

Keywords: *Zea mays* L., co-inoculation, growth-promoting bacteria, sustainable agriculture.

Instituição afiliada – ¹MSc, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Umuarama, PR, Brasil; ²PhD, Professor do Departamento de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Umuarama, PR, Brasil; ³PhD student, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Marechal Cândido Rondon, PR, Brasil; ⁴Estudante de graduação, Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Umuarama, PR, Brasil

Autor correspondente: Gláucia Leticia Sete da Cruz glaucialeleticia@gmail.com

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta crescente produção agrícola para a cultura do milho, com produção na safra de 2025/2026 estimada em 131.000 milhões de toneladas, aproximadamente 11% a mais em relação aos últimos cinco anos (USDA, 2025). Entretanto, alta nos preços dos fertilizantes pode impactar a produção (Colussi et al., 2020), uma vez que importa-se 94% de potássio, 76% de nitrogênio e 55% de fósforo (U.S. Geological Survey, 2020).

Apesar disso, o uso de fertilizantes inorgânicos geram impactos ambientais como emissão de gases de efeito estufa (Walling e Vaneekhaute, 2020), contaminação por metais pesados (Gonçalves Junior et al., 2014), poluição de águas tanto superficiais quanto subterrâneas (Bijay-Singh e Craswell, 2021), além dos impactos na microbiota do solo (Frattini et al., 2023), desta forma, em razão dos impactos ambientais causados, busca-se por métodos alternativos de produção que aliem sustentabilidade e produtividade.

Em decorrência dos fatores, surge-se o uso de bactérias diazotróficas, tendo atuação no desenvolvimento das plantas principalmente pela fixação biológica de nitrogênio, além de possuírem capacidade de produzir e liberar substâncias reguladoras de crescimento vegetal (Silva et al., 2017), além de solubilizarem fosfato (Timofeeva et al., 2023). As bactérias fixadoras de nitrogênio, vivem em tecidos de plantas como sistema radicular e em interfaces de solo-rizosfera, podendo fornecer quantias significativas de nitrogênio as plantas (Timmusk et. al., 2017), dentre estas podemos destacar os gêneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Clostridium*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum*, *Methanosarcina* e *Paenibacillus* (Ladha et al., 2016), enquanto as bactérias solubilizadoras de fosfato são atribuídos os gêneros *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, dentre outros (Kalayu, 2019).

Outro fator benéfico atribuído a essas bactérias são a capacidade de produção de auxinas (Housh et al., 2023), hormônio essencial, que atua no regulamento e desenvolvimento das plantas (Gao, Zhuang e Zhang, 2024), além de ser um dos hormônios utilizados durante períodos de estresse, tendo a finalidade de manter o processo de homeostase in vivo, diminuindo os efeitos negativos dos estresses



abióticos (Zhu et al., 2015; Zhang et al., 2018). Em se tratando da absorção de nutrientes, embora o fósforo seja absorvido principalmente na forma de P solúvel, esse processo exige energia celular. A adenosina trifosfatase (ATPases) de prótons utilizam adenosina trifosfato (ATP) para criar um gradiente que permite que o fósforo (P) entre na planta, ligando diretamente o metabolismo energético ao aproveitamento do fósforo do solo (Poirier, Jskolowski e Clúa, 2022).

Diante dos fatos, investigar o potencial uso de bactérias diazotróficas no desenvolvimento e produtividade do milho se torne, uma vez que pode promover melhorias no crescimento e no desenvolvimento das plantas. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência da inoculação com bactérias diazotróficas, via sementes e via foliar em milho cultivado na região Noroeste do estado do Paraná.

METODOLOGIA

Dois Ensaios (safras 1 e 2) foram conduzidos na Fazenda Experimental do Campus Regional da Universidade Estadual de Maringá, localizado no município de Umuarama-PR, sob coordenadas geográficas 23°47'22.37" S e 53°15'29.28" O. O experimento foi realizado em parcelas subdivididas, em esquema de blocos casualizados com três repetições, no qual, as parcelas principais receberam os respectivos tratamentos de sementes com as bactérias diazotróficas enquanto nas subparcelas foram realizadas ou não aplicação de *Azospirillum brasilense*.

Quatro tratamentos de sementes foram adotados, sendo eles: testemunha sem inoculação (apenas com adição de água nas sementes em volume de 1000 µL), inoculação com *Azospirillum brasilense* Cepas Ab-V5 e Ab-V6 (Simbiose Maíz® com 5×10^8 células por mL), inoculação com *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* (BiomaPhos® com 4×10^9 células por semente) e a inoculação combinada de *Azospirillum brasilense*, *B. subtilis* e *B. megaterium*. A inoculação das sementes foi realizada no Laboratório de Botânica e Fisiologia Vegetal da UEM e foram adotadas as doses conforme recomendações em bula pelo fabricante dos produtos.

Para a inoculação combinada, primeiro procedeu-se à inoculação com *Azospirillum* e logo após a secagem de adesão do produto as sementes, a inoculação com *B. subtilis* e *B. megaterium* também seguindo recomendações de bula, tratadas aproximadamente uma hora antes da semeadura. Para homogeneização dos



tratamentos, as sementes foram pesadas e acondicionadas em sacos plásticos, sendo realizados 50 movimentos no sentido anterógrado e 50 movimentos retrógrados de forma manual.

A aplicação foliar se deu por meio do auxílio de bomba costal, no qual, as subparcelas sem aplicação de *A. brasiliense* receberam pulverização de água no volume de 150 L ha⁻¹, enquanto para aplicação de *A. brasiliense* foram diluídos 200 mL do produto em um volume de calda de 150 L ha⁻¹.

As análises de solo da área experimental (Tabela 1) foram compostas por dez pontos de coletas, posteriormente misturadas, e então originadas uma amostra composta em ambos os Ensaios, para as quais foram obtidas as caracterizações químicas a seguir.

Tabela 1 - Caracterização química de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, a uma profundidade de 0-10 cm, anteriormente à implantação de duas safras de milho no Noroeste do Paraná (Umuarama/PR, 2025).

Ensaio 1								
pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	P
CaCl ₂	cmolc dm ⁻³						%	mg dm ⁻³
5,50	0,00	2,77	16,82	4,01	4,27	2,27	59,17	17,15
Ensaio 2								
pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	P
CaCl ₂	cmolc dm ⁻³						%	mg dm ⁻³
5,11	0,00	3,13	15,77	4,57	5,27	5,22	65,41	22,17

pH= potencial hidrogeniônico; Al³⁺= íon alumínio carregado positivamente com três cargas positivas; Ca= cálcio, Mg= magnésio; K= potássio; SB=soma de bases; CTC= capacidade de troca catiônica, V%= Saturação por bases, P= fósforo

A correção do solo e adubação se deu conforme o manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (Pauletti e Motta, 2019), com base na análise do solo, visando atender a demanda nutricional da cultura do milho.

Desta forma, as sementes de milho híbrido P4285VYHR, foram semeadas nos dias 08/03/2023 para a primeira safra e 29/11/2023 para segunda safra, realizadas de



forma mecanizada, na qual cada parcela experimental possuía uma área total de 54 m², compostas por seis linhas de 10 m, espaçadas de 0,90 entre linhas e 0,50 entre plantas. Quando as plantas atingiram seis folhas completamente desenvolvidas (V6), procedeu-se à aplicação foliar de *Azospirillum brasiliense* na dosagem de 200 mL ha⁻¹, após as 18 horas, utilizando-se um pulverizador costal, com umidade relativa de 52% e velocidade do vento de 9 km h⁻¹. Desta forma, a aplicação foi feita em cada subparcela, permitindo avaliar a interação da aplicação foliar x tratamento de sementes.

Os tratos culturais foram semelhantes para ambas as safras. Para o controle de plantas daninhas, utilizou-se herbicidas em pré-semeadura e, em pós emergência, quando as plantas atingiram oito pares de folhas (V8). A aplicação de inseticidas se deu sempre que constatado nível de dano econômico à cultura.

Durante o período de condução experimental, em ambas as safras, as condições climáticas foram monitoradas diariamente e coletadas da Estação Meteorológica pertencente ao *Campus* Fazenda, destacando-se a regularidade das chuvas e as médias de máximas e mínimas de temperatura conforme evidenciados nas Figuras 1 e 2.

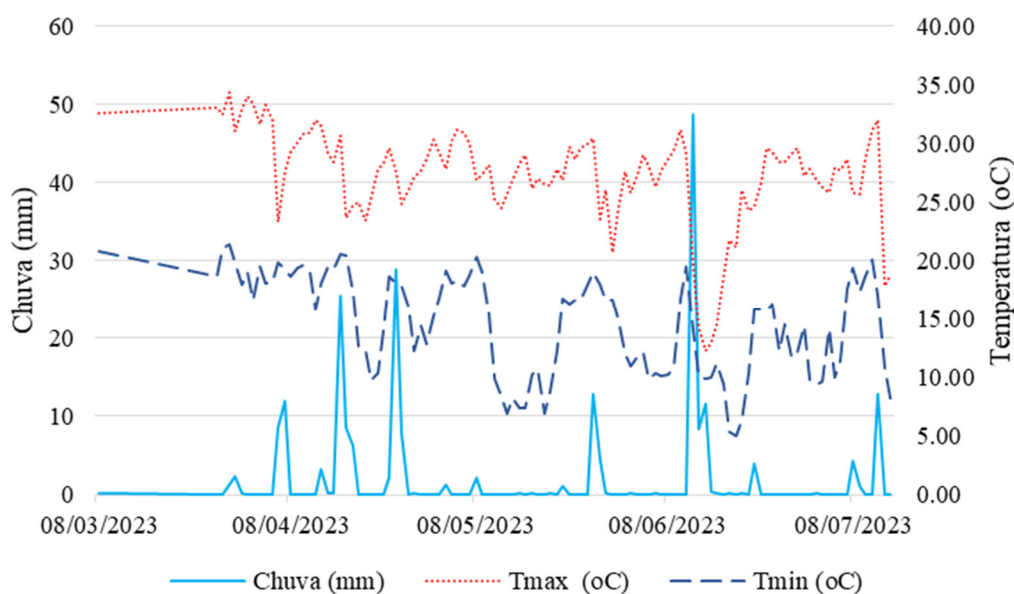


Figura 1 – Precipitação pluviométrica, temperaturas máxima e durante o período de condução experimental da Safra 1.

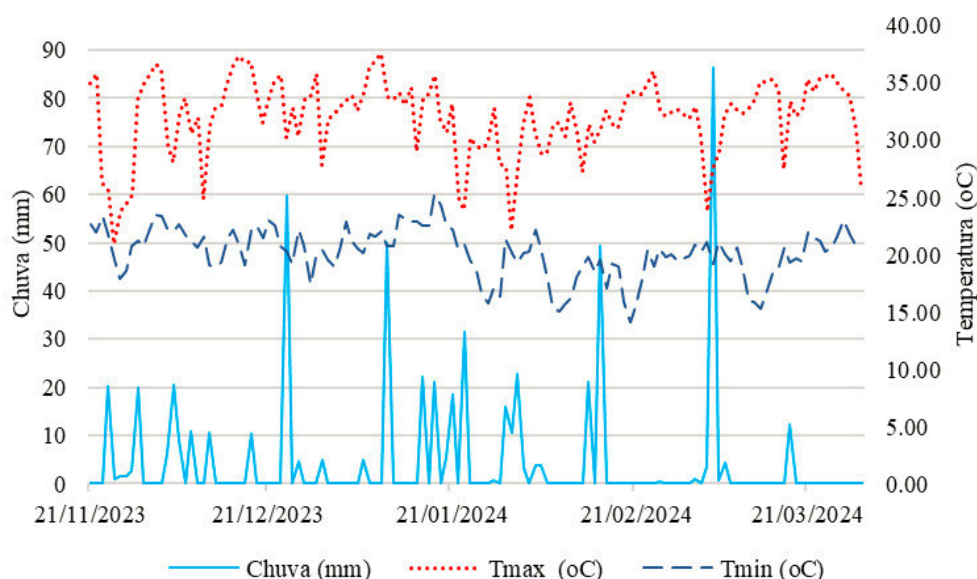


Figura 2 – Precipitação pluviométrica, temperaturas máxima e durante o período de condução experimental da Safra 2.

A colheita foi realizada de forma manual, utilizando-se dez plantas da área útil de cada parcela (duas linhas centrais) para as avaliações. Decorridos 120 dias após implantação da cultura, procedeu-se às avaliações do comprimento de plantas, sendo considerado o comprimento da região do colo até o ápice da maior folha, altura de inserção de espiga do colo até a base da espiga, diâmetro do colo, comprimento de espiga, número de folhas, massa seca de planta e de espiga, as quais foram levadas a estufa a 65°C por 72 h, índice de clorofila (índice Spad) com auxílio do aparelho CFL1030 (clorofilometro), além do número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número total de grãos por espiga, comprimento e diâmetro da espiga e do sabugo, massa de mil grãos e produtividade.

Para obtenção do comprimento de plantas, altura de inserção de espiga e comprimento de espiga, utilizou-se uma fita métrica. Para as características diâmetro do caule na região do colo, diâmetro de espiga e de sabugo foi utilizado paquímetro digital. Com relação à coleta dos valores das massas da matéria seca e massa de grãos, foi utilizada balança de precisão.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, posteriormente à análise de variância (Teste F) e as médias foram agrupadas pelo teste



de Skott-Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do Programa Computacional SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Ensaio 1, realizado em março de 2023, os tratamentos de sementes ou aplicação foliar não influenciaram na altura das plantas, com valores variando entre 196,66 e 217,33 cm para os tratamentos sem aplicação e 199,66 a 212,00 para os com aplicação foliar (Tabela 2).

Tabela 2 - Altura de plantas, número de folhas e diâmetro de colmo de milho, submetidos a tratamentos com bactérias diazotróficas via tratamento de sementes e aplicação foliar em duas safras, na região Noroeste do Paraná (Umuarama, 2025).

Ensaio1						
F.V.	Aplicação foliar					
	Alt de plantas (cm)		Nº folhas		Diâm. Colmo (mm)	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com az	Sem az
Sem	199,66	196,66	11bA	11bA	27,50aA	23,36aB
Az.	210,33	214,00	12aA	12aA	29,69aA	24,74aB
Solub.	209,30	212,66	11bB	12aA	25,25bA	25,66aA
Solub. + Az.	212,00	217,33	12aA	11bA	23,58bA	23,51aA
Valor de F						
Trat. Sementes	1,60 ^{ns}		3,85*		6,53*	
Aplic. Foliar	1,33		3,00 ^{ns}		111,66*	
Trat. x Aplic	0,42		5,00*		5,51*	
CV 1 (%)	2,71		3,02		2,00	
CV 2 (%)	6,22		2,66		5,64	
Ensaio 2						
F.V.	Aplicação foliar					
	Alt de plantas (cm)		Nº folhas		Diâm. Colmo (mm)	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com az	Sem az
Sem	251,00	266,50	13	13	27,59	23,51
Az.	267,33	264,16	14	14	27,95	25,64
Solub.	259,85	250,00	14	14	26,35	25,64
Solub. + Az.	257,34	265,69	14	14	25,79	24,86
Valor de F						



Trat. Sementes	1,64 ^{ns}	2,05 ^{ns}	1,01 ^{ns}
Aplic. Foliar	0,31	3,92	5,17
Trat. x Aplic	2,55	0,43	1,45
CV 1 (%)	4,58	4,35	8,35
CV 2 (%)	3,35	5,09	6,08

Alt. de plantas (cm) = altura de plantas; Nº folhas= número de folhas; Diâm. Colmo (mm) = diâmetro do colmo; FV= fonte de variação; Trat. Sementes= tratamento de sementes; Sem Az= sem *Azospirillum*; Solub= solubilizador de fósforo; Solub. + Azz. = Solubilizador de fósforo mais aplicação de *Azospirillum*; Aplic. Foliar= aplicação foliar; CV1- coeficiente de variação 1, CV2= coeficiente de variação 2; Com Az= com aplicação de *Azospirillum*; Sem Az.= sem aplicação de *Azospirillum*. Médias seguidas por uma mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. ns= não significativo.

Para o número de folhas, observou-se interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores, destacando-se a aplicação foliar sem *A. brasiliense* no tratamento com solubilizador de fósforo, que apresentou 12 folhas, enquanto o mesmo tratamento com *Azospirillum* resultou em 11 folhas (Tabela 2). No diâmetro do colmo, o tratamento Solubilizador + *Azospirillum* com aplicação sem *Azospirillum* apresentou o maior valor (25,66 mm), significativamente superior aos tratamentos Sem *Azospirillum*. (23,36 mm) e com *Azospirillum* (24,74 mm) sob a mesma condição ($p < 0,05$). No entanto, para o Ensaio 2 (Tabela 3), não foram observadas diferenças significativas para as variáveis analisadas.

Os incrementos obtidos nas variáveis mencionadas podem ter ocorrido em decorrência da capacidade das bactérias diazotróficas em interferir no balanço hormonal como as auxinas (Vacheron et al., 2013), estimulando o alongamento celular por meio da extensibilidade da parede (Majda e Robert, 2018) fixação de nitrogênio e solubilização de nutrientes (Grover et al., 2021), como fósforo, potássio e zinco (Glick, 2014, Rodrigues et al., 2022).

A inoculação com *Azospirillum* pode trazer inúmeros benefícios as plantas, atribuídos de forma direta a capacidade da fixação de nitrogênio oriundo da atmosfera, além da capacidade da fixação de fitormônios como ácido indol-3-acético, bem como auxiliar em controles de estresses abióticos por meio da resistência sistêmica induzida. Devido a isto, bactérias como *Azospirillum*, podem promover atribuições às características vegetais mediadas por antioxidantes, ajustes osmóticos, produção de fitormônios, além das estratégias de defesa utilizando genes relacionados à patogênese (Fukami, Cerezini e Hungria, 2018).



Vale ressaltar que as características fenotípicas podem ser amplamente afetadas conforme o ambiente, como observado por López-Malvar et al., (2025), que demonstraram que a cultura do milho, quando em condições de secas, teve a dinâmica da composição da parede celular alterada. Portanto, as diferenças significativas entre as duas safras de cultivo podem ter sofrido variações ambientais, sendo significativamente afetadas por condições hídricas, de temperatura, dentre outros fatores.

Outro fator que pode ter casado a não significância para a característica altura de planta, pode ser atribuído ao fato de que, durante o período experimental, os recursos hídricos (Figuras 1 e 2), e a caracterização química do solo (Tabela 1), reduziram os efeitos plásticos do solo, não conferindo diferenças para altura e diâmetro de colmo, e deslocaram os ganhos para biomassas. Lana et al., (2012), observaram que, para altura de plantas não observou-se diferença significativa, entretanto, para as biomassas houve aumento, com a aplicação de *Azospirillum*. Em condições de recursos suficientes, o milho pode realocar assimilados para biomassa estrutural (Ruiz et al., 2025).

Estudos realizados por Cakir (2004) demonstram que para a interferência em questões foliares na cultura do milho, é necessário déficit hídrico severo, o que não foi encontrado no presente trabalho, possibilitando o desenvolvimento do número de folhas normalmente. A espessura do colmo de milho está diretamente associada à quantia de carboidratos que a planta consegue alocar para este órgão. Em condições de estresse hídrico, reduz-se a fotossíntese e os assimilados passam a ser transportados para órgãos essenciais como folhas jovens e estruturas reprodutivas (Taiz e Zeiger, 2017). No entanto, conforme observado para os dados climatológicos apresentados (Figura 1 e 2), não foram constatados déficits hídricos prolongados que justifiquem reduções expressivas no transporte de fotoassimilados. Assim, a não diferença significativa entre os tratamentos para diâmetro de colmo sugere que as condições ambientais favoráveis permitiram desenvolvimento uniforme desta característica.

Para massa seca de limbo foliar não houve diferença estatística entre os tratamentos tanto para o Ensaio 1 quanto para o Ensaio 2 (Tabela 3). Entretanto, as



massas secas de colmo e de espiga foram diretamente influenciadas pelos tratamentos em ambos os Ensaios (Tabela 3).

Para o Ensaio 1, a massa seca de colmo, apresentou diferença apenas em relação ao tratamento de sementes no qual a presença do *Azospirillum* (310,49 g), solubilizador de fosforo (308,36 g) e a junção dos dois (324,32 g), foram superiores a testemunha com 258,52, enquanto para o tratamento sem aplicação foliar apenas a aplicação de *Azospirillum*, não diferiu da testemunha estando no mesmo agrupamento com 283,16 g e 285,74 g, respectivamente.

Com relação ao Ensaio 2, a interação entre os fatores tratamento de sementes e aplicação foliar foram observados para a fonte de variação massa seca de colmo (Tabela 3), sendo que a aplicação de solubilizador de fosforo quando não aplicado *Azospirillum* foliar obteve menor média (121,94 g), do que quando aplicado (310,41 g). O tratamento de sementes não diferiu significativamente da aplicação isolada de *A. brasiliense*. Quando aplicado via foliar foi igual a testemunha 200,32 g e 184,20 g respectivamente, no entanto, o tratamento quando sem aplicação de *Azospirillum* foliar, o tratamento de sementes com solubilizador de fósforo (121,94) atingiu médias inferiores a testemunha observada (205,72).

A massa seca da espiga (Tabela 3) foi uma das variáveis mais responsivas aos tratamentos, com interação significativa entre o tratamento de sementes e a aplicação foliar, em ambos Ensaios, o que indica que a resposta da cultura pode ser dependente da combinação sinérgica entre os fatores. No Ensaio 1, o tratamento Solubilizador de fósforo + *Azospirillum* com aplicação foliar apresentou a maior média (135,24 g), destacando-se dos demais. Em contrapartida, a testemunha sem uso de bactérias obteve apenas 72,64 g, com notória redução de 46% na biomassa.

Tabela 3 - Massa seca de limbo foliar, massa seca de colmo e massa seca de espiga, submetidas a tratamentos com bactérias diazotróficas via tratamento de sementes e aplicação foliar em duas safras, na região Noroeste do Paraná (Umuarama, 2025).



F.V.	Aplicação foliar					
	MS limbo foliar (g)		MS colmo (g)		MS espiga (g)	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com az	Sem az
Sem	116,57	138,86	258,52b	245,74b	72,64cA	51,61bA
Az.	138,83	130,01	310,49a	283,16b	43,49dA	57,73bA
Solub.	143,82	128,62	308,36a	363,92 ^a	95,88bA	48,03bB
Solub. + Az.	139,33	132,01	324,32a	316,06 ^a	135,24aA	85,81aB
Valor de F						
Trat. Sementes	0,23 ^{ns}		10,18*		18,52*	
Aplic. Foliar	0,04		0,04 ^{ns}		21,14*	
Trat. x Aplic	1,07		2,57 ^{ns}		6,10*	
CV 1 (%)	20,03		7,08		18,78	
CV 2 (%)	14,78		9,31		20,04	
Ensaio 2						
F.V.	Aplicação foliar					
	MS limbo foliar (g)		MS colmo (g)		MS espiga (g)	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com az	Sem az
Sem	108,68	108,41	184,20bA	205,72bA	154,00bA	95,70bA
Az.	144,70	92,50	200,32bA	197,72bA	203,82bA	112,25bB
Solub.	144,50	100,62	310,41aA	121,94cB	301,99aA	158,69aB
Solub. + Az.	124,78	126,96	288,59aA	270,38aA	178,53bA	198,22aA
Valor de F						
Trat. Sementes	0,67 ^{ns}		46,86*		8,80*	
Aplic. Foliar	8,15		19,29*		11,92 ^{ns}	
Trat. x Aplic	2,42		70,10*		5,10*	
CV 1 (%)	16,99		11,77		27,65	
CV 2 (%)	18,85		6,30		21,13	

MS= massa seca; FV= fonte de variação; Trat. Sementes= tratamento de sementes; Sem Az= sem *Azospirillum*; Solub= solubilizador de fosforo; Solub. + Azz. = Solubilizador de fosforo mais aplicação de *Azospirillum*; Aplic. Foliar= aplicação foliar; CV1- coeficiente de variação 1, CV2= coeficiente de variação 2; Com Az= com aplicação de *Azospirillum*; Sem Az.= sem aplicação de *Azospirillum*. Médias seguidas por uma mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. ns= não significativo; *= significativo a 5% de probabilidade

No Ensaio 2, o efeito foi ainda mais expressivo pois, o tratamento com Solubilizador de fósforo + *Azospirillum* alcançou 198,22 g, enquanto a testemunha permaneceu em 95,70 g. Esse ganho de mais de 100% na massa seca da espiga reforça a consistência e estabilidade da resposta positiva à coinoculação e à aplicação foliar, mesmo sob diferentes condições ambientais entre os Ensaios. A variação significativa da massa seca de espiga pode ser decorrente do adiantamento de fase em resposta



aos tratamentos, ou seja, as plantas inoculadas tiveram maior crescimento devido a melhor nutrição, já demonstrados nas demais variáveis biométricas e, conseqüentemente, podem ter antecipado o ciclo, resultando em espigas maiores no momento da avaliação.

Estudos demonstram que o *Azospirillum* quando aplicado, tanto em parte aérea quando em tratamento de sementes, promove incrementos em massa seca de parte aérea, além de maior acúmulo de nitrogênio (Marks et al., 2015). Atrelados a disponibilidade nutricional que são capazes de fornecer (Pereira et al., 2020), no qual o elemento fosforo desempenha papel importante no desenvolvimento das plantas (Lollato et al., 2019), estando diretamente associado ao crescimento das plantas (Zhang et al., 2016), além do qual os mecanismos provenientes da promoção de crescimento podem favorecer melhorias na capacidade das plantas em explorar melhor o solo (Zeffa et al., 2019), desta forma, plantas com melhores nutrições tendem a projetar melhores resultados, como ganhos de massa.

O incremento na absorção de nutrientes, e conseqüentemente no crescimento, podem ocorrer devido a uma ação indireta, pois, estudos demonstram que plantas de milho tratadas com bactérias diazotróficas promoveram o incremento das raízes em 56% em relação a testemunha (Ali et al., 2023) e em 102% (Pereira e Castro, 2014). Assim, plantas com maior sistema radicular podem ter “maior acesso” á água e nutrientes e, conseqüentemente, apresentar maior produção de massa e resistência a estresses.

Para a característica comprimento de espiga (Tabela 4), encontrou-se diferença significativa apenas para aplicação foliar, no qual o tratamento que recebeu a aplicação foliar de *Azospirillum* foi superior ao tratamento que não foi aplicado com média de 13,25 e 13,07 respectivamente. Enquanto para o Ensaio 2 (Tabela 4), a diferença se deu apenas para o tratamento de sementes, no qual para aplicação foliar os tratamentos de solubilizador de fosforo e solubilizador de fosforo com adição de *Azospirillum* foram superiores a apenas aplicação de *Azospirillum* e a testemunha, com médias de 22,33 cm, 21,66 cm, 20, cm e 20,33 cm, respectivamente, enquanto para os tratamentos sem aplicação foliar os tratamentos de sementes com solubilizador de fósforo (21,66 cm) e *Azospirillum* (21,10 cm), demonstraram os melhores resultados.



Tabela 4 - Comprimento de espiga, diâmetro de espiga, diâmetro de sabugo e altura de inserção de espiga submetidos a tratamentos com bactérias diazotróficas via tratamento de sementes e aplicação foliar em duas safras, na região Noroeste do Paraná (Umuarama, 2025).

Ensaio1								
F.V.	Aplicação foliar							
	Comp. Espiga		Diâm. Espiga		Diâm. Sabugo		Alt. Ins. Espiga	
	Cm		Mm		Mm		-	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com az	Sem az
Sem	13,00	12,23	46,00	46,08	27,19	27,01	146,66 b	132,00 d
Az.	13,33	12,96	49,19	45,67	28,00	26,93	172,33 a	162,00 b
Solub.	13,36	13,43	46,66	48,10	27,96	28,23	145,33 b	142,33 c
Solub. + Az.	13,31	13,66	44,12	47,82	27,53	28,06	178,00 a	172,66 a
Total	13,25A	13,07B	-	-	-	-	160,58A	152,25B
Valor de F								
Trat. Sementes	2,10 ^{ns}		0,23 ^{ns}		0,39 ^{ns}		81,29*	
Aplic. Foliar	207,16*		0,05		0,15		41,49*	
Trat. x Aplic	0,83 ^{ns}		0,82		0,26		1,79 ^{ns}	
CV 1 (%)	0,23		10,20		2,55		2,03	
CV 2 (%)	5,02		8,69		6,05		3,05	

Ensaio 2								
F.V.	Aplicação foliar							
	Comp. Espiga		Diâm. Espiga		Diâm. Sabugo		Alt. Ins. Espiga	
	Cm		Mm		Mm		-	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com az	Sem az
Sem	20,33b	19,33b	42,93	40,49	23,50	22,68	154,66bA	132,33bB
Az.	20,00b	21,10a	35,13	35,51	22,05	22,61	175,00aA	171,33aA
Solub.	22,33a	21,66a	41,08	40,82	23,11	23,36	146,00bA	141,00bA
Solub. + Az.	21,66a	19,66b	45,89	37,03	24,17	23,26	169,33aA	170,00aA
Valor de F								
Trat. Sementes	4,79*		1,66 ^{ns}		0,72 ^{ns}		43,23*	
Aplic. Foliar	1,73 ^{ns}		13,42		4,58		8,38 ^{ns}	
Trat. x Aplic	2,45 ^{ns}		0,80		0,30		4,23*	
CV 1 (%)	5,74		4,68		1,15		4,07	
CV 2 (%)	4,87		14,48		7,14		3,83	

Comp.= comprimento; Diâm.= diâmetro; AltEspiga= Altura de inserção de espiga; FV= fonte de variação; Trat. Sementes= tratamento de sementes; Sem Az= sem *Azospirillum*; Solub= solubilizador de fosforo; Solub. + Az.= Solubilizador de fosforo mais aplicação de *Azospirillum*; Aplic. Foliar= aplicação foliar; CV1= coeficiente de variação 1, CV2= coeficiente de variação 2; Com Az= com aplicação de *Azospirillum*; Sem Az.= sem aplicação de *Azospirillum*. Médias seguidas por uma mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. ns= não significativo; *= significativo a 5% de probabilidade



Para as variáveis de diâmetro de espiga e diâmetro de sabugo (Tabela 4), as fontes de variação não apresentaram significância em ambos os Ensaios avaliados. Para altura de inserção de espiga (Tabela 4), o Ensaio 1 apresentou-se com significância para fatores isolados, no qual a aplicação foliar apresentou melhores resultados (160,58 cm), do que quando não foram aplicados (152,25 cm), enquanto os tratamentos de sementes quando aplicados *Azospirillum* foliar, o maior destaque deu-se ao tratamento isolado de *Azospirillum* (172,33) e a combinação de *Azospirillum* mais solubilizador de fósforo (178,00), enquanto que, quando não aplicado foliar apenas o tratamento de solubilizador de fósforo apresentou a pior média com 142,33 cm. Entretanto, para o Ensaio 2 (Tabela 4), observou-se interação significativa entre os fatores de altura de inserção de plantas, no qual, quando não realizados aplicação foliar e sem tratamento de sementes a altura de inserção de espiga não foi tão expressiva (132,33 cm), quando comparados a sem tratamento de sementes com aplicação foliar (154,66 cm).

O comprimento de espigas apresentou respostas distintas em ambas as safras. Para o Ensaio 1, o melhor resultado foi obtido por meio da aplicação foliar com *A. brasiliense*, sugerindo que, sob as condições climáticas desta safra, a aplicação dos microrganismos diretamente nos tecidos foliares potencializou a síntese de auxinas e giberelinas. Desta forma, o microrganismo utilizado via foliar possui a capacidade de promover o crescimento vegetal e a capacidade de produção desses fitormônios citados (auxinas e giberelinas) promovendo efeitos positivos (Puentes et al., 2018).

O comprimento de espigas apresentou respostas distintas em ambas as safras. Para o Ensaio 1, o melhor resultado foi obtido por meio da aplicação foliar com *A. brasiliense*, sugerindo que, sob as condições climáticas desta safra, a aplicação dos microrganismos diretamente nos tecidos foliares potencializou a síntese de auxinas e giberelinas. Desta forma, o microrganismo utilizado via foliar possui a capacidade de promover o crescimento vegetal e a capacidade de produção desses fitormônios citados (auxinas e giberelinas) promovendo efeitos positivos (Puentes et al., 2018).

Já no Ensaio 2, o efeito de significância foi para tratamento de sementes com as bactérias solubilizadoras de fósforo, isolado ou em combinação com *A. brasiliense*. As condições dessa safra apresentaram maior temperatura e variação hídrica (Figura 2), o



que provavelmente aumentou a demanda energética pelas plantas. Nesse cenário, a maior solubilização de fósforo pelas bactérias (Wang et al., 2022), favoreceram a síntese de adenosina trifosfato (ATP) (Müller et al., 2017), essencial para processos de expansão celular (Creative Proteomics, 2025).

Pacheco et al., (2024) relatam não ter observado diferença para diâmetro de espiga com aplicação de *Azospirillum brasiliense*. As diferenças aqui observadas podem estar atreladas à capacidade de fixar nitrogênio (Shin et al., 2016), que desempenha papel crucial para proteínas, ácidos nucleicos, fosfolípidios, clorofila, hormônios (Wang et al., 2024), dentre estes a auxina (Huang et al., 2021) que atua no alongamento de caule (Kou et al., 2021), resultando em caules mais alongados, consequentemente afetam altura de inserção de espigas.

Outro fator é de que, produtos com capacidade de solubilizar fósforo (bactérias solubilizadoras de fosfato), são benéficas para o desenvolvimento das culturas, uma vez que, promovem aumento e absorção de fósforo as culturas (Luo et al., 2024), desempenhando papel crucial na síntese de adenosina trifosfato, principal fonte de energia celular, portanto, quando em teores insuficientes as plantas podem ter crescimento reduzido (Carstensen et al., 2018; Saengwilai et al., 2023; Iqbal et al., 2023). Diante disto, o maior ganho em altura de inserção de espigas em ambos os Ensaios, demonstram de forma efetiva os ganhos oriundos pela associação da inoculação com *Azospirillum* mais solubilizador de fósforo.

O número de fileiras por espiga (Tabela 5), não demonstrou diferença significativa para o Ensaio 1, entretanto para o Ensaio 2, observou-se efeito da interação entre os atores, no qual, quando realizados os tratamentos de sementes com solubilizador de fósforo mais adição de *Azospirillum* e a aplicação foliar demonstrou resultados superior (16) ao quando não aplicado (13). Para a aplicação foliar os tratamentos de sementes não apresentaram diferenças significativas, entretanto, quando não realizadas a aplicação foliar, os tratamentos com solubilizador de fósforo e a fusão de solubilizador + *Azospirillum* permaneceram no mesmo agrupamento com médias de 13 número de fileiras por espiga, enquanto sem tratamento de sementes e somente aplicação de *Azospirillum* apresentaram médias superiores com 16 e 15 fileiras, respectivamente.



A variável de número de grãos de fileiras não apresentou significância em ambos os Ensaios, entretanto, quando avaliados o numero de grãos por espiga (Tabela 5), o Ensaio 1 obteve-se a significância para o fator isolado de aplicação foliar, no qual, quando aplicados *Azospirillum* em área foliar resultou expressivamente em maior numero de grãos por espiga com 456 grãos, em contrapartida quando não aplicados a média foi de 434 grãos, porém, para o Ensaio 2, os fatores apresentaram interação, a presença da aplicação de solubilizador + *Azospirillum* em tratamento de sementes em conjunto com a aplicação foliar da bactéria demonstrou dados superiores com 682 grãos, contra 490 grãos quando não houve aplicação foliar.

O efeito do tratamento de sementes foi observado de forma expressiva, quando não se teve aplicação foliar, variando entre os tratamentos de sementes, permanecendo médias inferiores conferidas aos tratamentos de solubilizador de fosforo e solubilizador + adição de *Azospirillum* com média de 480 e 490 respectivamente.

Tabela 5 - Número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de mil grãos e número total de grãos submetidos a tratamentos com bactérias diazotróficas via tratamento de sementes e aplicação foliar em duas safras, na região Noroeste do Paraná (Umuarama, 2025).

Ensaio1								
F.V.	Aplicação foliar							
	Nº de fileiras		N de grãos fileira ⁻¹		Nº grãos espiga ⁻¹		Massa 1000 grãos	
	-		-		-		g	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com Az	Sem Az	Com Az	Sem Az
Sem	17	18	31	26	446	431	26,89Aa	24,55aB
Az.	18	17	27	26	461	417	24,54cA	24,67aA
Solub.	17	18	26	26	420	422	27,57Aa	24,06aB
Solub. + Az.	18	18	29	28	498	467	26,00Ba	24,01aB
Total	-	-	-	-	456,66A	434,58B	-	-
Valor de F								
Trat. Sementes	0,30 ^{ns}		0,99 ^{ns}		2,23 ^{ns}		6,23*	
Aplic. Foliar	1,00		1,61		38,73*		56,61*	
Trat. x Aplic	1,10		1,05		0,31 ^{ns}		8,63*	
CV 1 (%)	2,30		11,63		1,95		2,49	
CV 2 (%)	4,20		10,48		9,68		2,37	
Ensaio 2								



F.V.	Aplicação foliar							
	Nº de fileiras		N de grãos fileira ⁻¹		Nº grãos espiga ⁻¹		Massa 1000 grãos	
	-		-		-		G	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az	Com az	Sem Az	Com Az	Sem Az
Sem	14aA	15aA	36	35	541aA	577aA	29,38	28,00
Az.	14aA	16aA	40	41	594aA	656aA	30,05	27,02
Solub.	14aA	13bA	39	35	581aA	480bA	31,05	25,,80
Solub. + Az.	16aA	13bB	42	35	682aA	490bB	31,60	28,77
Total	-	-	-	-	-	-	30,52A	27,40B
Valor de F								
Trat. Sementes	1,89 ^{ns}		1,85 ^{ns}		1,89 ^{ns}		1,34 ^{ns}	
Aplic. Foliar	4,00 ^{ns}		8,39		3,05 ^{ns}		172,07*	
Trat. x Aplic	3,57*		1,38		4,16*		1,25 ^{ns}	
CV 1 (%)	2,75		6,98		11,95		2,01	
CV 2 (%)	6,93		9,54		12,46		6,03	

Nº= numero; FV= fonte de variação; Trat. Sementes= tratamento de sementes; Sem Az= sem *Azospirillum*; Solub= solubilizador de fosforo; Solub. + Azz.= Solubilizador de fosforo mais aplicação de *Azospirillum*; Aplic. Foliar= aplicação foliar; CV1- coeficiente de variação 1, CV2= coeficiente de variação 2; Com Az= com aplicação de *Azospirillum*; Sem Az.= sem aplicação de *Azospirillum*. Médias seguidas por uma mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. ns= não significativo; *= significativo a 5% de probabilidade

Para massa de 1000 grãos, no Ensaio 1 (Tabela 5), a interação foi significativa entre os fatores, sendo que para o tratamento de sementes com *Azospirillum*, a aplicação foliar ou não, não se diferiu estatisticamente com 24,54 e 24,67 g respectivamente; entretanto, para todos os outros, a aplicação foliar demonstrou resultados superiores. Apenas a inoculação com *Azospirillum* não foi eficiente para elevar a massa de mil grãos dentro da aplicação foliar (24,54 g), apresentando a menor média entre os demais tratamentos, enquanto o tratamento sem aplicação foliar, não foi impulsionado pelo tratamento de sementes, no qual permaneceram todos no mesmo agrupamento com médias que variaram de 24,01 g a 24,67 g. Para o Ensaio 2, demonstrou-se eficácia apenas para a aplicação foliar, os quais foram observados que na ausência de aplicação foliar as medias foram significativamente menores (24,70 g) do que em relação quando aplicados (30,52 g). O número de fileiras, característica crucial ao milho, capaz de interferir diretamente na produtividade (Wang et al., 2024), considerado uma característica quantitativa de alta herdabilidade (Zhou et al., 2014), entretanto, ainda sim pode sofrer influência de fatores ambientais (Wang et al., 2024), como demonstrado a diferença nos Ensaios, onde o Ensaio 1 não apresentou diferença significativa, entretanto, o Ensaio 2 foram observadas interações entre os fatores.



O número de grãos por fileira não apresentou diferença significativa entre os tratamentos nos dois Ensaios, o que pode estar relacionado à estabilidade dessa característica frente às variações ambientais. Segundo Choquete et al., (2023), a plasticidade fenotípica no período de floração é um fator determinante para o sucesso reprodutivo e produtivo em milho, sendo altamente influenciada pelo fotoperíodo e pela seleção adaptativa ao ambiente. Assim, materiais com baixa plasticidade ou com síndrome desadaptativa podem não expressar plenamente o seu potencial genético, resultando em ausência de significância estatística para caracteres ligados à formação de grãos.

O número de grãos por espiga apresentou diferença significativa para aplicação foliar no Ensaio 1 e pela interação entre os fatores no Ensaio 2. O tratamento de solubilizador + *Azospirillum* associado à aplicação foliar, proporcionou aumento expressivo no número de grãos. Isso é coerente com o encontrado na literatura que demonstra que bactérias promotoras de crescimento melhoram a absorção de nutrientes pelas plantas, além de modular hormônios vegetais (Magalhães et al., 2024).

A massa de mil grãos foi maior nos tratamentos com aplicação foliar, especialmente no Ensaio 2. Esse ganho pode estar ligado a maior disponibilidade de fósforo no solo, estudo demonstra efeito significativo quando o solo obtinha fosforo para essa variável (Boukhalfa-Deraoui et al., 2020), conforme já mencionado, as bactérias são capazes de promover melhorias nas absorções de nutrientes pelas plantas, desta forma, plantas melhores nutridas tendem a expressar-se melhor as características.

Para as fontes de variação de massa total de grãos e produtividade em kg ha⁻¹, não foram observadas diferenças significativas em ambos os Ensaios realizados (Tabela 6), no Ensaio 1, as médias com aplicação foliar variaram de 1138,33 a 1355,00 g para massa total de grãos, enquanto quando não aplicados essa variação foi de 1172,66 a 1249,66 g; já para o Ensaio 2, as variações foram 1165,00 a 1313,66 e 1148,33 a 1298,33 g, respectivamente.

Tabela 6 - Massa total de grãos e produtividade em kg. ha⁻¹, submetidos a



tratamentos com bactérias diazotróficas via tratamento de sementes e aplicação foliar em duas safras, na região Noroeste do Paraná (Umuarama, 2025).

Ensaio1				
F.V.	Aplicação foliar			
	Massa total grãos (g)		Produtividade kg.ha ⁻¹	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az
Sem	1275,00	1249,66	7083,39	6942,64
Az.	1355,00	1172,66	7527,83	6514,86
Solub.	1138,33	1355,00	6324,12	7527,84
Solub. + Az.	1161,33	1248,33	7527,83	6935,23
Valor de F				
Trat. Sementes	0,27 ^{ns}		0,27 ^{ns}	
Aplic. Foliar	0,47		0,47	
Trat. x Aplic	2,59		2,59	
CV 1 (%)	6,88		6,88	
CV 2 (%)	10,36		10,36	
Ensaio 2				
F.V.	Aplicação foliar			
	Massa total grãos (g)		Produtividade kg.ha ⁻¹	
Trat. Sementes	Com az	Sem az	Com az	Sem az
Sem	1285,00	1148,33	7138,94	6379,68
Az.	1313,66	1158,33	7298,21	6435,23
Solub.	1165,00	1185,00	6472,27	6583,38
Solub. + Az.	1305,00	1298,33	7250,06	7213,02
Valor de F				
Trat. Sementes	0,47 ^{ns}		0,47 ^{ns}	
Aplic. Foliar	2,27		2,27	
Trat. x Aplic	0,33		0,33	
CV 1 (%)	9,17		9,17	
CV 2 (%)	15,26		15,26	

FV= fonte de variação; Trat. Sementes= tratamento de sementes; Sem Az= sem *Azospirillum*; Solub= solubilizador de fosforo; Solub. + Azz.= Solubilizador de fosforo mais aplicação de *Azospirillum*; Aplic. Foliar= aplicação foliar; CV1- coeficiente de variação 1, CV2= coeficiente de variação 2; Com Az= com aplicação de *Azospirillum*; Sem Az.= sem aplicação de *Azospirillum*. Médias seguidas por uma mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. ns= não significativo; *= significativo a 5% de probabilidade

Para a variável produtividade de grãos, não houve diferença significativa, apresentando médias de 7527,83 kg ha⁻¹ para o tratamento com aplicação foliar e 7527,84 sem aplicação com solubilizador de fósforo, enquanto no Ensaio 2, o solubilizador de fósforo atingiu 7250,06 com aplicação foliar e 7213,02 sem aplicação foliar (Tabela 6).



Durante o florescimento e o início do enchimento dos grãos, o milho apresenta sensibilidade ao estresse hídrico (Bolaños et al., 1993), apesar do *Azospirillum* ser considerável um fator de tolerância a seca, algumas cepas podem tolerar mais ou menos essas condições (Garcia et al., 2017), portanto, dependente das condições, o material genético e os bioinsumos utilizados não foram capazes de expressar-se de forma eficiente para essas características. O teor de clorofila avaliado no Ensaio 2 (Tabela 7), demonstrou elevada confiabilidade experimental, com interação significativa entre os fatores tratamento de sementes e aplicação foliar.

Tabela 7 - Índice de clorofila (%) de plantas de milho, submetidas a tratamentos com bactérias diazotróficas via tratamento de sementes e aplicação foliar na região Noroeste do Paraná (Umuarama, 2025).

F.V.	Ensaio 2	
	Aplicação foliar	
	Teor de clorofila (%)	
Trat. Sementes	Com az	Sem az
Sem	94,02aA	81,61aB
Az.	81,71bA	80,96aA
Solub.	91,19aA	83,42aB
Solub. + Az.	92,73aA	70,91bB
Valor de F		
Trat. Sementes	8,59*	
Aplic. Foliar	20,59*	
Trat. x Aplic	13,96*	
CV 1 (%)	6,82	
CV 2 (%)	3,42	

FV= fonte de variação; Trat. Sementes= tratamento de sementes; Sem Az= sem *Azospirillum*; Solub= solubilizador de fosforo; Solub. + Azz.= Solubilizador de fosforo mais aplicação de *Azospirillum*; Aplic. Foliar= aplicação foliar; CV1- coeficiente de variação 1, CV2= coeficiente de variação 2; Com Az= com aplicação de *Azospirillum*; Sem Az.= sem aplicação de *Azospirillum*. Médias seguidas por uma mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. ns= não significativo; *= significativo a 5% de probabilidade

Quando realizada a aplicação foliar, todos os tratamentos de sementes apresentaram medias superiores em relação ao tratamento sem aplicação foliar, com exceção do tratamento apenas com *Azospirillum* em tratamento de sementes que se



igualou ao sem aplicação foliar, apresentando médias de 81,71 e 80,96 respectivamente. Dados semelhantes foram observados quando avaliados os tratamentos de sementes, que demonstrou também a menor eficiência do *Azospirillum* em aplicação foliar, entretanto, quando não houve aplicação foliar o tratamento que integrou o solubilizador de fosforo e *Azospirillum* obteve a menor média (70,91 %).

O uso de bactérias promotoras de crescimento em plantas, foram relatados com capacidade de proporcionar alterações positivas na clorofila das plantas (Mukhtar et al., 2022), no qual, a estimulação bacteriana do influxo de íons potássio (K^+) nas folhas das plantas tem sido demonstrada empiricamente como um fator que contribui para o aumento do conteúdo de clorofila e para a mitigação dos efeitos da toxicidade iônica (Etesami e Maheshwari, 2018; Shilev, 2020), desta forma, as plantas que sofreram inoculação, podem evitar a toxidez em sua forma iônica, mantendo de forma estável a relação sódio/potássio, o que eleva a exclusão de íons por meio do sistema radicular, e regulam as proteínas transportadoras de íons (Kelbessal et al., 2023). Tais fatores podem justificar a interação significativa entre os fatores avaliados, no qual, quando observados além do tratamento de sementes, a aplicação foliar dos tratamentos, demonstrou-se superiores as plantas que não sofreram tratamento foliar.

Os resultados demonstram que, apesar de não apresentarem diferenças significativas para produtividade, percebe-se que as plantas as quais receberam tratamentos com as bactérias diazotróficas tiveram incremento significativo nas variáveis biométricas como massa e altura de inserção de espiga, dentre outros, o que pode resultar em plantas “mais preparadas” às condições diversas como estresses bióticos e abióticos. Ainda, o incremento nestas variáveis indica possibilidade de redução nos insumos químicos com consequente redução nos custos de produção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inoculação com bactérias diazotróficas via tratamento de sementes e aplicação foliar na cultura do milho na região Noroeste do Paraná resultou em ganhos



significativos em biomassa e variáveis morfoagronômicas, demonstrando maior eficiência na absorção de nutrientes.

A aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* destacou-se na primeira safra, potencializando a síntese de fitormônios que influenciam o crescimento da espiga. Apesar de não alterar significativamente a produtividade, a coinoculação demonstra potencial para fortalecer as plantas e reduzir o uso de fertilizantes minerais, alinhando-se às práticas agrícolas mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ALI, Q.; AHMAD, M.; KAMRAN, M.; ASHRAF, S.; SHABAAN, S.; BABAR, B.H.; ZULFIQAR, U.; HAIDER, F.U.; ALI, M.A.; ELSHIKH, M.S. SYNERGISTIC EFFECTS OF RHIZOBACTERIA AND SALICYLIC ACID ON MAIZE SALT-STRESS TOLERANCE. **Plants**, Basel, v.12, n.1, p.1-17, 2023.

BIJAY-SINGH, CRASWELL, E. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. **SN Applied Sciences**, Heidelberg, v.3, n.518, p.1-15, 2021.

BOUKHALFA-DERAOU, N.; HANIFI-MEKLICHE, L.; MEKLICHE, A. Response of Wheat to Foliar and Soil P Fertilization on Grain Yield and Phosphorus use Efficiency in Southeastern Algeria. **Indian Journal of Agricultural Research**, New Delhi, v.55, n.1, p.99-104, 2021.

CAKIR, R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. **Field Crops Research**, Kirkclareli, v.89, n.1, p.1-16, 2004.

CARSTENSEN, A.; HERDEAN, A.; SCHMIDT, S.B.; SHARMA, A.; SPETEA, C.; PRIBIL, M.; HUSTED, S. The impacts of phosphorus deficiency on the photosynthetic electron transport chain. **Plant Physiology**, Oxford, v.177, n.1, p.271-184, 2018.

CHOQUETTE, N.E.; HOLLAND, J.B.; WELDEKIDAN, T.; DROUVAULT, J.; LEON, N.; FLINT-GARCIA, S.; LAUTER, N.; MURRAY, S.C.; XU, W.; WISSER, R.J. Environment-specific selection alters flowering-time plasticity and results in pervasive pleiotropic responses in maize. **New Phytologist**, Lancaster, v.238, n.1, p.737-749, 2023.

COLUSSI, J.; SCHNITKEY, G. Rising Fertilizer Prices to Affect Brazil's Largest Corn Crop. **FarmadocDaily**, Urbana, v.11, n.154, p 2-8, 2020.

CREATIVE PROTEOMICS, **ATP in Plants: Roles in Photosynthesis and Energy Production. 2025. ATP: Structure and Functions in Plants. 2025.** Disponível em: https://www.creative-proteomics.com/resource/atp-in-plants-roles-photosynthesis-energy-production.htm?utm_source. Acesso em: 20 jul. 2025.



ETESAMI, H. e MAHESHWARI, D.K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v.156, n.1, p.225–246, 2018.

FRATTINI, N; CARRASQUERO, A.P.; PRONSATO, L.; MILANESI, L.; VASCONSUELO, A. Effects of common fertilizers on the soil ecosystem. **Bulletin of the National Research Centre**, Dokki, v.47, n.78, p.1-7, 2023.

FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, Heidelberg, v,8, n.1, p.1-12, 2018.

GAO, J.; ZHUANG, S.; ZHANG, W. Advances in Plant Auxin Biology: Synthesis, Metabolism, Signaling, Interaction with Other Hormones, and Roles under Abiotic Stress. **Plants**, Basel, v.8, n.13, p.17-26, 2024.

GARCÍA, J.E.; MARONICHE, G.; CREUS, C.; SUÁREZ-RODRÍGUEZ, R.; RAMIREZ-TRUJILLO, J.A.; GROPPA, M.D. In vitro PGPR properties and osmotic tolerance of different *Azospirillum* native strains and their effects on growth of maize under drought stress. **Microbiological Research**, Amsterdam, v.202, n.1, p.21-29, 2017.

GLICK, B.R. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. **Microbiological Research**, Amsterdam, v.169, n.1, p.30-39, 2014.

GONÇALVES JUNIOR, A.C.; NACKE, H.; SCHWANTES, D.; COELHO, G.F. Heavy Metal Contamination in Brazilian Agricultural Soils due to Application of Fertilizers. In: HERNANDEZ-SORIANO, M.C. (Ed.) **Environmental Risk Assessment of Soil Contamination**. Intechopen: Londres, 2014. p.105-136.

GROVER, M.; BODHANKAR, S.; SHARMA, A.; SHARMA, P.; SINGH, J.; NAIN, L. PGPR mediates alterations in root traits: way toward sustainable crop production. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v.4, n.1, p.1-28, 2021.

HOUSH, A.B.; NOEL, R.; POWER, A.; WALLER, S.; WILDER, S.L.; SOPKO, S.; BENOIT, M.; POWELL, G.; SCHUELLER, M.J.; FERRIERI, R.A. Studies using mutant strains of *Azospirillum brasilense* reveal that atmospheric nitrogen fixation and auxin production are light dependent processes. **The Hidden World within Plants 2.0**, Basel, v.11, n.7, p.12-19, 2023.

HUANG, D.; WANG, Q.; JING, G.; MA, M.; LI, C.; MA, F. Overexpression of MdIAA24 improves apple drought resistance by positively regulating strigolactone biosynthesis and mycorrhization. **Tree Physiology**, Oxford, v.41, n.1, p.1-19, 2021.

IQBAL, A.; QIANG, D.; XIANGRU, W.; HUIPING, G.; HENGHENG, Z.; XILING, Z.; MEIZHEN, S. Genotypic variation in cotton genotypes for low phosphorus tolerance and efficiency under different growth conditions. **Journal of Crop Health**, Berlin, v.75, n.1, p.1975-1993, 2023.

KALAYU, G. Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, London, v.2019, n.2019, p.1-8, 2019.

KELBESSAL, B.G.; DUBEY, M.; CATARA, V.; GHADAMGAHI, F.; ORTIZ, R.; VETUKURI, R.R.



Potential of plant growth-promoting rhizobacteria to improve crop productivity and adaptation to a changing climate. **CABI Reviews**, Wallingford, v.2023, n.2023, 2023.

KOU, E.; HUANG, X.; ZHU, Y.; SU, W.; LIU, H.; SUN, G.; CHEN, R.; HAO, Y.; SONG, S. Crosstalk between auxin and gibberellin during stalk elongation in flowering Chinese cabbage. **Scientific Reports**, London, v.11, n.1, p.1-18, 2021.

LADHA, J.K.; TIROL-PADRE, A.; REDDY, C.K.; CASSMAN, K.G.; VERMA, S.; POWLSON, D.S.; VAN KESSEL, C.; RICHTER, D.d.B.; CHAKRABORTY, D.; PATHAK, H. Global Nitrogen Budgets in Cereals: A 50-Year Assessment for Maize, Rice and Wheat Production Systems. **Scientific Reports**, London, v.6, n.19355, p.2-11, 2016.

LANA, M.C.; DARTORA, J.; MARINI, D.; HANN, J.E. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. **Ceres**, Viçosa, v.59, n.3, p.399-405, 2012.

LOLLATO, R.P.; FIGUEIREDO, B.M.; DHILLON, J.S.; ARNALL, D.B.; RAUN, W.R. Wheat grain yield and grain-nitrogen relationships as affected by N, P, and K fertilization: a synthesis of long-term experiments. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v.236, n.1, p.42-57, 2019.

LÓPEZ-MALVAR, A.; MAIN, O.; GUILLAUME, S.; JACQUEMONT, M.P.; MEUNIER, F.; REVILLA, P.; SANTIAGO, R.; MECHIN, V.; REYMOND, M. Genotype-dependent response to water deficit: increases in maize cell wall digestibility occurs through reducing both p-coumaric acid and lignification of the rind. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.16, n.1, p.1-18, 2025.

LUO, D.; SHI, J.; LI, M.; CHEN, J.; WANG, T.; ZHANG, Q.; YANG, L.; ZHU, N.; WANG, Y. Consortium of phosphorus-solubilizing bacteria promotes maize growth and changes the microbial community composition of rhizosphere soil. **Agronomy**, Basel, v.14, n.7, p.1-17, 2024.

MAGALHÃES, S.P.; SILVA, F.G.; CORDOVIL, H.P.L.; TENÓRIO, A.N.R.S. Plant growth-promoting bacteria in alleviating saline stress and water deficit in agriculture. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.17, n.6, p.01-24, 2024.

MAJDA, M.; ROBERT, S. The role of auxin in cell wall expansion. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v.19, n.1, p.2-21, 2018.

MARKS, B.B.; MEGÍAS, M.; OLLERO, F.J.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Maize growth promotion by inoculation with *Azospirillum* brasilense and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipo-chitooligosaccharides (LCOs). **AMB Express**, Heidelberg, v.5, n.71, p.1-11, 2015.

MUKHTAR, T.; ALI, F.; RAFIQUE, M.; ALI, J.; AFRIDI, M.S.; SMITH, D.; MEHMOOD, S.; AMNA, SOULEIMANOV, A.; JELLANI, G.; SULTAN, T.; MUNIS, F.H.; CHAUDHARY, H.J. Biochemical Characterization and Potential of *Bacillus safensis* Strain SCAL1 to Mitigate Heat Stress in *Solanum lycopersicum* L. **Journal of Plant Growth Regulation**, Cham, v.42, n.1, p.523-538, 2023.



MÜLLER, W.E.G.; WANG, S.; NEUFURTH, M.; KOKKINOPOULOU, M.; FENG, Q.; SCHRÖDER, H.C.; WANG, X. Polyphosphate as a donor of high-energy phosphate for the synthesis of ADP and ATP. **Journal of Cell Science**, Cambridge, v.130, n.16, p.2747-2756, 2017.

PACHECO, D.S.; GIACOMIN, E.L.; CAMPOS, T.K.; BARRETO, C.F.; UBESSI, C.; SILVEIRA, D.C. Desempenho de milho inoculado com *azospirillum brasilense*. **Revista de Agronomia e Medici na Veterinária**, Umuarama, v.11, n.2, p.1-18, 2024.

PAULETTI, V. & MOTTA, A. C. V. **Manual de calagem e adubação para o estado do Paraná**. 2 ed. Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – NEPAR-SBCS: Curitiba, 2019

PEREIRA, N.C.M.; GALINDO, F.S.; GAZOLA, R.P.D.; DUPAS, E.; ROSA, P.A.L.; MORTINHO, E.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Corn yield and phosphorus use efficiency response to phosphorus rates associated with plant growth promoting bacteria. **Frontiers in Environmental Science**, Lausanne, v.8, n.1, p.1-19, 2020.

PEREIRA, S.I.A.; CASTRO, P.M.L. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance *Zea mays* growth in agricultural P-deficient soils. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v.73, n.2, p.526-535, 2014.

POIRIER, Y.; JASKOLOWSKI, A.; CLÚA, J. Phosphate acquisition and metabolism in plants. **Current Biology**, Cambridge, v.32, n.12, p.623-629, 2022.

PUENTE, M.L.; GUALPA, J.L.; LOPEZ, G.A.; MOLINA, R.M.; CARLETTI, S.M.; CASSÁN, F.D. The benefits of foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean are explained by an auxin signaling model. **Symbiosis**, Netherlands, v.76, n.1, p.41–49, 2018.

RODRIGUES, G.L.; MATTEOLI, F.; GAZARA, R.K.; RODRIGUES, P.S.L.; SANTOS, S.T.; ALVES, A.F.; PEDROSA-SILVA, F.; OLIVEIRA-PINHEIRO, I.; CANEDO-ALVRENGA, D.; OLIVARES, F.L. VENANCIO, T.M. Characterization of cellular, biochemical and genomic features of the diazotrophic plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* sp. UENF-412522, a novel member of the *Azospirillum* genus. **Microbiological Research**, Amsterdam, v.254, n.1, p.1-15, 2022.

RUIZ, A.; LISTELLO, A.; TRIFUNOVIC, S.; ARCHONTOULIS, S.V. Maize breeding enhances lodging resistance through vertical allocation changes of stem dry matter and nitrogen. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.16, n.1, p.1-10, 2025.

SAENGWILAI, P.J.; BOOTTIA, P.; KLINNAWEE, L. Responses of rubber tree seedlings (*Hevea brasiliensis*) to phosphorus deficient soils. **Soil, Science and Plant Nutrition**, Tóquio, v.69, n.2, p.78-87, 2023.

SHILEV, S. Plant-growth-promoting bacteria mitigating soil salinity stress in plants. **Applied Sciences-Basel**, Basel, v.10, n.20, p.26-39. 2020

SHIN, W.; RASHEDUL, I.; ABITHA, B.; MELVIN, J.M.; KIYOON, K.; SELVAKUMAR, G.; SANDIPAN, S.; SOMAK, B.; TONGMIN, S. Role of Diazotrophic Bacteria in Biological



Nitrogen Fixation and Plant Growth Improvement. **Korean Journal of Soil Science and Fertilizer**, Seul, v.49, n.1, p.17-29, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. A.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed: Porto Alegre, 2017. 858p.

TIMMUSK, S.; BEHERS, L.; MUTHONI, J.; MURAYA, A.; ARONSSON, A.C. Perspectives and Challenges of Microbial Application for Crop Improvement. **Front. Plant Science**, Lausanne, v.8, n.49, p.1-11, 2017.

TIMOFEEVA, A.M.; GALYAMOVA, M.R.; SEDYKH, S.E. Plant Growth-Promoting Soil Bacteria: Nitrogen Fixation, Phosphate Solubilization, Siderophore Production, and Other Biological Activities **Plants**, Basel, v.12, n.24, p.16-21, 2023.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2020**. Washington: U.S. Geological Survey, 2020. 200 p.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Production – Corn, Top Producing Countries. 2024/2025 Corn Production**. 2025. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0440000>. Acesso em: 26 jul. 2025.

VACHERON, J.; DESBROSSES, G.; BOUFFAUD, M.L.; TOURAINE, B.; MOËNNE-LOCCOZ, Y.; MULLER, D.; LEGENDRE, L.; WISNIEWSKI-DYÉ, PRIGENT-COMBARET, C. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers Plant in Science**, Lausanne, v.4, n.1, p.1-19, 2013.

WALLING, E.; VANEECKHAUTE, C. Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v.276, n.12, p.26-31, 2020.

WANG, Q.; LI, S.; LI, J.; HUANG, D. The utilization and roles of nitrogen in plants. **Forests**, Basel, v.15, n.7, p. 1-17, 2024.

WANG, X.; CHEN, Y.; SUN, X.; LI, J.; ZHANG, R.; JIAO, Y.; WANG, R.; SONG, W.; ZHAO, J.; Characteristics and candidate genes associated with excellent stalk strength in maize (*Zea mays* L.). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.13, n.1, p.1-17, 2022.

ZEFFA, D.M.; PERINI, L.J.; SILVA, M.B.; SOUSA, N.V.; SCAPIM, C.A.; OLIVEIRA, A.L.M.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; GONÇALVES, L.S.A. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. **Plos One**, San Francisco, v.14, n.4, p.1-20, 2019.

ZHANG, C.; LI, G.; CHEN, T.; FENG, B.; FU, W.; YAN, J.; ISLAM, M.R.; JIN, Q.; TAO, L.; FU, G. Heat Stress Induces Spikelet Sterility in Rice at Anthesis through Inhibition of Pollen Tube Elongation Interfering with Auxin Homeostasis in Pollinated Pistils. **Rice**, Heidelberg, v.11, n.1, p.14-22, 2018.

ZHANG, Y.; THOMAS, C.L.; XIANG, J.; LONG, Y.; WANG, X.; ZOU, J.; LUO, Z.; DING, G.; CAI, H.; GRAHAM, N.S.; HAMMOND, J.P.; KING, G.J.; WHITE, P.J.; XU, F.; BROADLEY, M.R.; SHI, L.; MENG, J. QTL meta-analysis of root traits in *Brassica napus* under



contrasting phosphorus supply in two growth systems. **Scientific Reports**, London, v.6, n.1, p.1-13, 2016.

ZHOU, Z.; LI, G.; TAN, S.; LI, D.; WEI, T.M.; WANG, X.; CHEN, S.; WÜRSCHUM, T.; LIU, W. A QTL atlas for grain yield and its component traits in maize (*Zea mays*). **Plant Breeding**, Weinheim, v.139, n.3, p.562-574, 2020.

ZHU, J.; ZHANG, K.-X.; WANG, W.-S.; GONG, W.; LIU, W.-C.; CHEN, H.-G.; XU, H.-H.; LU, Y.-T. Low Temperature Inhibits Root Growth by Reducing Auxin Accumulation via ARR1/12. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v.56, n.1, p.727-736, 2015.