

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5408>

ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 08/02/2021

APROVADO 05/09/2021

PUBLICADO ON-LINE 05/09/2021

PUBLICADO 30/09/2022

EDITORA ASSOCIADA

Monaliza Mirella de Morais Andrade Cordeiro

Inoculação com *Azospirillum* brasileiro e *Bradyrhizobium japonicum* melhora o desempenho fisiológico de sementes de soja?

RESUMO: A soja é uma oleaginosa utilizada na alimentação animal, com ganhos crescentes em produtividade, graças aos avanços tecnológicos, como a utilização de bactérias promotoras de crescimento. O objetivo do trabalho foi avaliar a germinação e vigor de sementes de soja submetidas a diferentes doses de inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum*. O trabalho foi realizado na Universidade Federal do Piauí, no Campus Professora Cinobelina Elvas. Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×2×5, com quatro repetições, sendo duas espécies de bactérias (*Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum*), duas cultivares de soja (M8808 IPRO e a FTR 4280 IPRO) e cinco doses dos inoculantes (0 ml, 100 ml, 200 ml, 300 ml e 400 ml para 50 kg de sementes). Foram analisados porcentagem de germinação e plântulas anormais, índice de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea e raiz e massa seca de plântulas. Houve efeito significativo para todas as variáveis, e o *Azospirillum brasilense* se mostrou eficiente para todas elas, com exceção da massa seca, que, nesse caso, o *Bradyrhizobium japonicum* se mostrou mais eficaz. A inoculação com *Azospirillum brasilense*, na dose entre 200 ml e 300 ml, e de *Bradyrhizobium japonicum*, na dose de 200 ml a 230 ml, promove melhorias no vigor das sementes.

Palavras-chave: bactérias promotoras de crescimento; germinação; *Glycine max* L.; vigor.

*Inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium japonicum* improves physiological performance of soybean seeds?*

ABSTRACT: Soybean is an oilseed used in food, with increasing gains in productivity, thanks to technological advances, such as the use of growth-

-  José Bonifácio Alves Guimarães Júnior^[1]
-  Juliana Joice Pereira Lima^[2]
-  Milane Sales Lobato^[3]
-  Alcione de Miranda Brito^[4]
-  Elaine Martins da Costa^[5]
-  Luis Borges Rocha^[6]

[1] bonifacio.junior08@gmail.com,

[2] julianajoicelima@yahoo.com.br

[3] milane.lobato@gmail.com

[4] agroalcione@gmail.com.
Coordenação do Curso de Engenharia Agrônoma, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil.

[5] elaine.costa@ufpi.edu.br
Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil.

[6] luisborges.agro@hotmail.com
Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil.

*Autor para correspondência.

promoting bacteria. The objective of the work was to evaluate the germination and vigor of soybean seeds submitted to different doses of inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium japonicum*. The work was carried out at the Federal University of Piauí, Campus Professora Cinobelina Elva. A completely randomized design was used, in a 2×2×5 factorial scheme, with four replications, two species of bacteria (*Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium japonicum*), two cultivars of soybean (M8808 IPRO and FTR 4280 IPRO) and five doses of inoculants (0 ml, 100 ml, 200 ml, 300 ml and 400 ml for 50 kg of seeds). Percentage of germination and abnormal seedlings, rate of germination speed, length of shoot and root and dry matter of seedlings were analyzed. There was a significant effect for all variables and *Azospirillum brasilense* was efficient for all of them, with the exception of dry matter, which in this case *Bradyrhizobium japonicum* was more effective. The inoculation with *Azospirillum brasilense* in the dose between 200 ml and 300 ml, and *Bradyrhizobium japonicum* in the dose of 200 ml to 230 ml promotes improvements in seed vigor.

Keywords: growth-promoting bacteria; germination; *Glycine max* L.; vigor.

1 Introdução

A soja (*Glycine max* L.) é a oleaginosa mais cultivada no mundo, sendo apontada como base da alimentação de vários povos, com crescimento no Brasil a partir da década de 1960. A produção mundial de soja na safra 2019/2020 foi de 337,298 milhões de toneladas, e, desse total, o Brasil foi responsável por produzir cerca de 124,844 milhões de toneladas; com isso se tornou o maior produtor mundial de soja (CONAB, 2020).

O sucesso dessa cultura se inicia desde a obtenção de sementes de alta qualidade, que devem apresentar características sanitárias, físicas, genéticas e fisiológicas adequadas. Nos atributos fisiológicos, o vigor desempenha um papel importante na produção agrícola, uma vez que sementes mais vigorosas resultam numa germinação mais rápida e uniforme, ajudando no rápido crescimento das plantas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; ROCHA *et al.*, 2017).

Pode-se dizer que o aumento da produção e produtividade da soja está ligado diretamente, também, aos avanços científicos e à oferta de tecnologias ao campo de cultivo (EMBRAPA, 2011). Entre as tecnologias disponíveis, está a inoculação de sementes com microrganismos simbióticos e promotores de crescimento de plantas (ITURRALDE *et al.*, 2020), os quais têm um enorme potencial agrônomo, por realizar efeitos fisiológicos positivos durante o desenvolvimento das plantas.

Existem grupos de microrganismos, como bactérias associativas, capazes de promover o crescimento das plantas por meio de vários processos biológicos; nestes grupos, se inclui o gênero *Azospirillum*. Pesquisas mostram a capacidade da espécie *Azospirillum brasilense* em produzir auxinas, giberelinas e citocininas, em condições “*in vitro*” (ARSHAD; FRANKENBERGER JUNIOR, 1997; CASSÁN *et al.*, 2009), e também o desempenho das plantas em campo (SOUZA *et al.*, 2020). Nessas pesquisas observou-se que a colonização por essas bactérias tem favorecido a produção de fitohormônios que estimulam a formação do sistema radicular, o que, como consequência, resulta em um aumento na eficiência de absorção de água e nutrientes.

Outro grupo de bactérias que desempenha papel importante na planta são os do gênero *Bradyrhizobium*. A inoculação da soja com bactérias deste gênero é um dos

fatores determinantes para atingir elevados rendimentos por causa da fixação biológica de nitrogênio (FBN), que é uma fonte sustentável do nutriente (FIPKE *et al.*, 2016). Esse tipo de bactéria tem possibilitado a redução dos custos de produção na soja, com consequente aumento da competitividade dessa *commodity* no mercado internacional (ARMENDARIZ *et al.*, 2019; ZILLI *et al.*, 2010).

Existem vários relatos na literatura sobre os benefícios da inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum* no desempenho de plantas e produtividade de soja (ARMENDARIZ *et al.*, 2019; ITURRALDE *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2020), porém poucos são os estudos em relação à utilização dessas bactérias no desempenho das sementes de soja (CASSÁN *et al.*, 2009), o que possibilitaria o avanço das pesquisas na procura do uso de tecnologias que visem aumentar o vigor de sementes e desempenho de plântulas.

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar a germinação e vigor de sementes de cultivares de soja, submetidas a diferentes doses de inoculante à base de *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum*.

2 Material e métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Fitotecnia da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Professora Cinobelina Elvas (CPCE), na cidade de Bom Jesus, estado do Piauí, Brasil.

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), aplicado em esquema fatorial $2 \times 2 \times 5$, com quatro repetições, sendo duas espécies de bactérias (*Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum*); duas cultivares de soja (M8808 IPRO e a FTR 4280 IPRO); e cinco doses do inoculante (0 ml, 100 ml, 200 ml, 300 ml e 400 ml) aplicado para 50 kg de sementes.

Os seguintes testes foram utilizados para avaliar o desenvolvimento das sementes:

Teste de germinação: conduzido de acordo com as regras de análise de sementes – RAS. Para cada tratamento, foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, em rolos de papel germitest, umedecidos com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel, mantida à temperatura constante de 25 °C (BRASIL, 2009). Ao oitavo dia, foi feita a quantificação das plântulas normais e anormais, e os resultados foram expressos em porcentagem (%);

Índice de velocidade de germinação: juntamente com o teste de germinação, foi realizada a contagem diária de sementes germinadas, considerando como tais sementes com comprimento da radícula a partir de 2 mm. As contagens diárias das sementes germinadas até se estabilizarem foram realizadas, a fim de se obter o índice de velocidade de germinação (IVG) dado pela Equação 1 (MAGUIRE, 1962):

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \dots + \frac{Ga}{Na} \quad (1)$$

em que: *G1*, *G2* e *Ga* são os números de plântulas na primeira, na segunda e na última contagem, respectivamente; *N1*, *N2* e *Na* são os números de dias de semeadura à primeira, segunda e última contagem, respectivamente;

Tabela 1 ▼

Resumo da análise de variância, com os quadrados médios para as variáveis: porcentagem de germinação (PG), porcentagem de plântulas anormais (PPA), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA) e massa seca de plântulas (MSP).

**Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.
Fonte: dados da pesquisa

Comprimento de raiz e parte aérea: foi realizado a partir de plântulas normais, aos 8 dias após a semeadura, mensurando o comprimento da raiz e parte aérea com régua milimetrada, e os dados expressos em centímetros por plântula (cm plântula⁻¹);

Massa seca de plântulas: foram selecionadas, aleatoriamente, dez plântulas normais e colocadas em sacos de papel em estufa a 60 °C até estabilizar o peso seco das plântulas; os dados foram expressos em gramas por 10 plântulas (g 10 plântulas⁻¹).

A análise de variância pelo teste *F* foi realizada a partir dos resultados obtidos. Quando esses resultados foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, para os fatores bactérias e cultivares, a 5% de probabilidade, realizando-se a análise de regressão para as doses de bactérias empregadas. A análise dos dados foi realizada por meio do programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

3 Resultados

Na Tabela 1, apresenta-se um resumo da análise de variância para as variáveis: porcentagem de germinação, porcentagem de plântulas anormais, índice de velocidade de germinação, comprimento da raiz de plântulas, comprimento da parte aérea de plântulas e massa seca de plântulas. A interação tripla foi significativa apenas para o IVG e massa seca de plântulas.

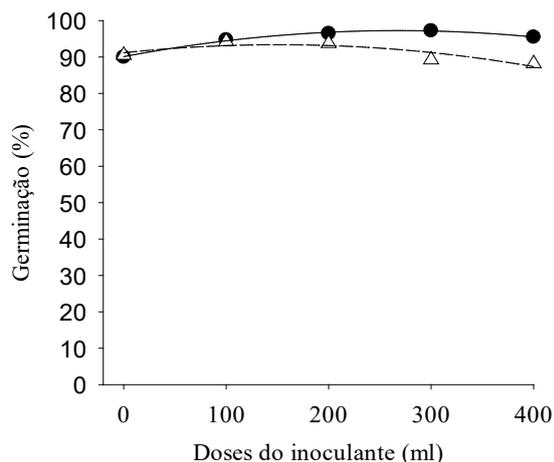
Fontes de variação	GL	Quadrados médios					
		PG	PPA	IVG	CR	CPA	MSP
Bactérias (B)	1	168,20**	168,20**	85,67**	0,38 ^{ns}	44,52**	28,12**
Cultivares (C)	1	1,80 ^{ns}	7,20 ^{ns}	43,23**	7,61**	5,17**	9,45**
Doses (D)	4	56,67**	51,30**	3,19**	8,35**	2,36**	0,22**
B * C	1	1,80 ^{ns}	3,20 ^{ns}	6,54**	23,32**	2,11**	1,89**
B * D	4	44,07**	23,45 ^{ns}	4,04**	1,44 ^{ns}	2,27**	0,26**
C * D	4	79,17**	81,95**	3,58**	5,65**	0,49 ^{ns}	0,21**
B * C * D	4	4,67 ^{ns}	4,70 ^{ns}	3,40**	2,01 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,25**
Erro	60	17,33	14,10	1,21	1,33	0,55	0,01

No que diz respeito à porcentagem de germinação, foi possível observar que o *Azospirillum brasilense* favoreceu para que houvesse uma maior porcentagem de germinação em relação ao *Bradyrhizobium japonicum*. Constatou-se, também, que o aumento das doses de *Azospirillum brasilense* promoveu aumentos na porcentagem de germinação até a dose de 267,5 ml. O mesmo comportamento, quadrático, ocorreu para o *Bradyrhizobium japonicum* na dose de 183,125 ml, promovendo o máximo de germinação (Figura 1).

Figura 1 ►

Efeito das diferentes doses e tipos de bactérias na porcentagem de germinação sementes de soja.

Fonte: dados da pesquisa



● *Azospirillum brasilense* — $y = -1E-04x^2 + 0,0535x + 90,1$ $R^2 = 0,99$

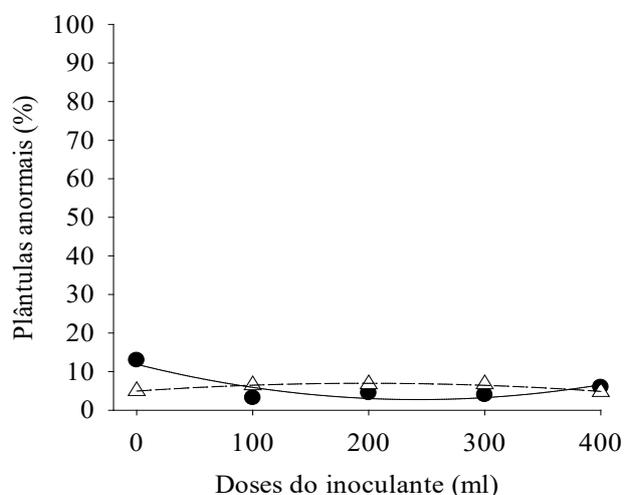
△ *Bradyrhizobium japonicum* ···· $y = -8E-05x^2 + 0,0293x + 91,1671$ $R^2 = 0,87$

No que se refere à porcentagem de plântulas anormais (Figura 2), notou-se que, para as duas cultivares, houve um comportamento quadrático dos dados. A cultivar M8808 IPRO apresentou, na dose de 188,5 ml, a menor porcentagem de plântulas anormais. Na cultivar FTR 4280 IPRO, na dose de 205 ml, houve a maior porcentagem de plântulas anormais.

Figura 2 ►

Porcentagem de plântulas anormais em função das diferentes doses dos inoculantes e cultivares de soja.

Fonte: dados da pesquisa



● M8808 IPRO — $y = 0,0002x^2 - 0,0754x + 11,9071$ $R^2 = 0,90$

△ FTR 4280 IPRO ···· $y = -5E-05x^2 + 0,0205x + 4,9643$ $R^2 = 0,97$

Em relação ao Índice de Velocidade de Germinação, observa-se que houve diferença significativa para a interação bactérias versus cultivares (Tabela 2) e também para a interação tripla bactérias x cultivares x doses (Figura 3).

De acordo com a Tabela 2, comparando-se as bactérias dentro de cada cultivar, é notório que houve um maior IVG tanto para a cultivar M8808 IPRO quanto para a cultivar FTR 4280 IPRO quando associada ao *Azospirillum brasilense*. Quando se comparam as cultivares dentro de cada bactéria, percebe-se que, quando inoculadas com

Bradyrhizobium japonicum ou com *Azospirillum brasilense*, a cultivar M8808 IPRO apresentou um maior IVG em relação à cultivar FTR 4280 IPRO.

Tabela 2 ►

Efeito da inoculação de diferentes bactérias promotoras de crescimento no Índice de Velocidade de Germinação (IVG) em cultivares de soja. *Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p > 0,05$).

Fonte: dados da pesquisa

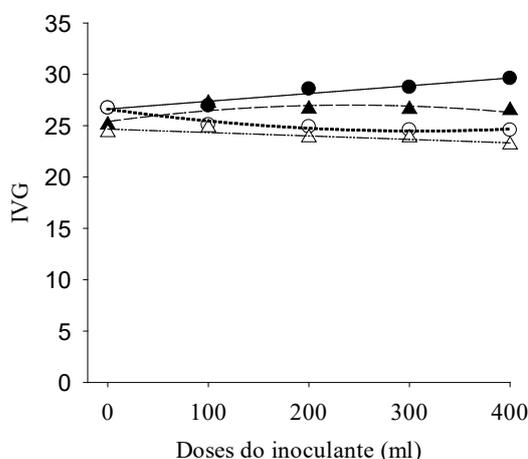
Cultivares	Bactérias	
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
M8808 IPRO	27,93 Aa	25,29 Ba
FTR 4280 IPRO	25,89 Ab	24,39 Bb
CV (%)	4,26	

Na Figura 3, a interação entre os tipos de bactérias, cultivares e doses no IVG é indicada. Foi possível observar que os maiores IVGs se deram quando as sementes foram inoculadas com *Azospirillum brasilense*.

Verifica-se que o *Azospirillum brasilense*, na M8808 IPRO, promoveu aumento do IVG à medida que se aumentaram as doses do inoculante, com os dados se ajustando em equação linear crescente. Já para o *Bradyrhizobium japonicum*, na M8808 IPRO, houve um comportamento quadrático dos dados ajustados, exibindo, na dose de 342,5 ml, o menor IVG. Também houve um comportamento quadrático para o *Azospirillum brasilense* na FTR 4280 IPRO, apresentando, na dose de 223,33 ml, o máximo IVG. Já o *Bradyrhizobium japonicum*, na FTR 4280 IPRO, promoveu redução no IVG, à medida que houve o aumento das doses do inoculante, com os dados ajustados em equação linear decrescente.

Figura 3 ►

Efeito das diferentes doses de bactérias promotoras de crescimento, no Índice de Velocidade de Germinação (IVG) em soja. Fonte: dados da pesquisa



- *Azospirillum brasilense* (M8808 IPRO) ——— $y = 0,0076x + 26,6180$ $R^2 = 0,96$
- *Bradyrhizobium japonicum* (M8808 IPRO) $y = 2E-05x^2 - 0,0137x + 25,5957$ $R^2 = 0,96$
- ▲ *Azospirillum brasilense* (FTR 4280 IPRO) ···· $y = -3E-05x^2 + 0,0134x + 25,3969$ $R^2 = 0,80$
- △ *Bradyrhizobium japonicum* (FTR 4280 IPRO) - - - - $y = -0,0034x + 24,66$ $R^2 = 0,85$

Para o comprimento da parte aérea (Tabela 3), nota-se que, para ambas as cultivares, houve um aumento do comprimento da parte aérea quando inoculadas com *Azospirillum brasilense*. Verificou-se também, analisando as cultivares dentro de cada nível de bactérias, que, quando inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, a cultivar FTR 4280 IPRO teve uma maior média. E, quando associadas ao *Azospirillum brasilense*, não houve diferença entre as cultivares.

Tabela 3 ▶

Efeito de bactérias promotoras de crescimento associadas a cultivares de soja, para o comprimento da parte aérea de plântulas. * Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p > 0,05$).

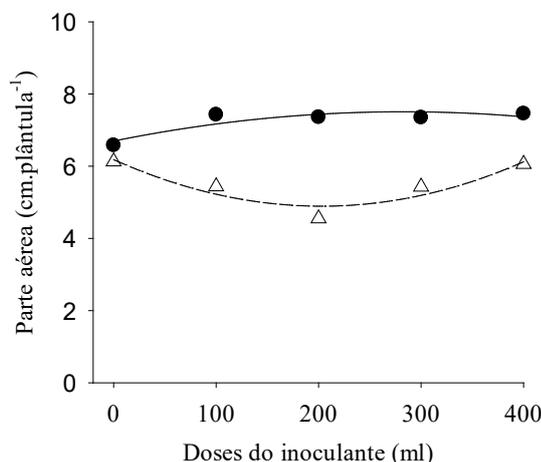
Fonte: dados da pesquisa.

Cultivares	Bactérias	
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
M8808 IPRO	6,92 Aa	5,11 Bb
FTR 4280 IPRO	7,11 Aa	5,94 Ba
CV (%)	11,87	

Analisando o efeito das bactérias e doses no comprimento da parte aérea (Figura 4), foi possível observar que o *Azospirillum brasilense* proporcionou um maior comprimento da parte aérea, em relação ao *Bradyrhizobium japonicum*. Para os dois tipos de bactérias, houve um comportamento quadrático, com crescimento da parte aérea até a dose de 285 ml para o *Azospirillum brasilense*, e a redução do comprimento até a dose de 211,66 ml para o *Bradyrhizobium japonicum*.

Figura 4 ▶

Efeito de diferentes doses e tipos de bactérias no comprimento da parte aérea de plântulas de soja. Fonte: dados da pesquisa



● *Azospirillum brasilense* — $y = -1E-05x^2 + 0,0057x + 6,6971$ $R^2 = 0,88$
 △ *Bradyrhizobium japonicum* ···· $y = 3E-05x^2 - 0,0127x + 6,1820$ $R^2 = 0,92$

Para o comprimento da raiz (Tabela 4), observou-se a interação entre os tipos de bactérias e cultivares. Foi notório que, quando as sementes foram inoculadas com *Azospirillum brasilense*, a cultivar FTR 4280 IPRO apresentou um maior comprimento da raiz. Já para *Bradyrhizobium japonicum*, não houve diferença entre as cultivares. Para a cultivar M8808 IPRO, o *Bradyrhizobium japonicum* favoreceu para um maior comprimento da raiz. Já para a cultivar FTR 4280 IPRO, o *Azospirillum brasilense* causou efeito para que essa cultivar desenvolvesse um maior comprimento da raiz.

Tabela 4 ▶

Interação entre tipos de bactérias promotoras de crescimento e cultivares, no comprimento da raiz de plântulas de soja. * Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p > 0,05$).

Fonte: dados da pesquisa

Cultivares	Bactérias	
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
M8808 IPRO	10,57 Bb	11,79 Aa
FTR 4280 IPRO	12,27 Aa	11,33 Ba
CV (%)	10,04	

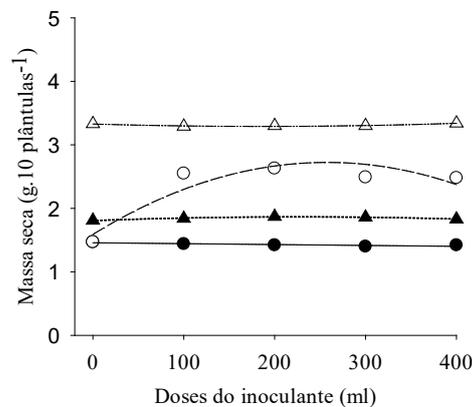
Houve interação tripla significativa no que se refere à massa seca de plântulas (Figura 5) e observou-se que, tanto para a cultivar M8808 IPRO como para a cultivar FTR 4280 IPRO, o *Bradyrhizobium japonicum* favoreceu para uma maior massa seca de plântulas.

No que se refere ao *Azospirillum brasilense*, na M8808 IPRO, houve um comportamento linear decrescente, à medida que se aumentaram as doses do inoculante. Já para o *Bradyrhizobium japonicum*, na M8808 IPRO, houve um comportamento quadrático, com aumento do peso de massa seca até a dose de 220 ml. No que se refere ao *Azospirillum brasilense*, na FTR 4280 IPRO, também houve um comportamento quadrático, apresentando, na dose de 250 ml do inoculante, o máximo de massa seca. Para o *Bradyrhizobium japonicum*, na FTR 4280 IPRO, também houve um comportamento quadrático dos dados ajustados, apresentando a menor massa seca, na dose de 200 ml do inoculante.

Figura 5 ►

Efeito de diferentes doses e tipos de bactérias no peso de massa seca de plântulas de cultivares de soja.

Fonte: dados da pesquisa



- *Azospirillum brasilense* (M8808 IPRO) ——— $y = -0,0001x + 1,4580$ $R^2 = 0,83$
- *Bradyrhizobium japonicum* (M8808 IPRO) ···· $y = -2E-05x^2 + 0,0088x + 1,5891$ $R^2 = 0,92$
- ▲ *Azospirillum brasilense* (FTR 4280 IPRO) ······ $y = -1E-06x^2 + 0,0005x + 1,8071$ $R^2 = 0,97$
- △ *Bradyrhizobium japonicum* (FTR 4280 IPRO) - - - - $y = 1E-06x^2 - 0,0004x + 3,3274$ $R^2 = 0,95$

4 Discussão

Observa-se que a utilização de bactérias do gênero *Azospirillum* tem grande relevância em culturas como o milho (SANTINI *et al.*, 2018) e trigo (GALINDO *et al.*, 2017) e, recentemente, ganhou mais atenção na cultura da soja (ARMENDARIZ *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2020). No que diz respeito às bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, há muitos estudos que comprovam o efeito benéfico na fixação de nitrogênio na soja (ARMENDARIZ *et al.*, 2019; ITURRALDE *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2020), no entanto, os estudos que utilizam esses dois gêneros buscando avaliar a germinação e vigor de sementes são escassos.

Outras investigações comprovam que ambas as bactérias são evidentemente capazes de excretar compostos reguladores de crescimento de plantas no meio de cultura, em uma concentração suficiente para produzir alterações morfológicas e fisiológicas nos tecidos de sementes jovens (CASSÁN *et al.*, 2009). Nossos resultados mostram, entretanto, que o *Azospirillum brasilense* promoveu uma maior porcentagem de germinação (Figura 1), aumentou o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) (Tabela 2 e Figura 3) e proporcionou um maior comprimento da parte aérea (Tabela 3 e Figura 4), quando comparado à ausência de inoculação (dose 0) e também submetido à inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. Segundo Okon e Labandera-Gonzalez

(1994), a espécie *Azospirillum brasilense* atua na produção de substâncias promotoras de crescimento, como auxinas, giberelinas e citocininas. Cassán *et al.* (2009) observaram que *Azospirillum brasilense* é um melhor produtor de auxina e zeatina se comparado ao *Bradyrhizobium japonicum*.

Um maior Índice de Velocidade de Germinação pode ter sido favorecido pela produção de quantidades satisfatórias de zeatina; já para o aumento do comprimento da parte aérea, tal favorecimento pode ter sido causado pelas auxinas presentes no meio, produzidas pelas bactérias. Segundo Taiz e Zeiger (2017), a giberelina atua na regulação hormonal das enzimas responsáveis pela degradação das reservas nutricionais, que posteriormente são utilizadas na germinação das sementes.

Ainda, segundo esse autor, as auxinas atuam no crescimento do caule e no alongamento contínuo dessas células. Radwan, Mohamed e Reis (2004) também atestam que diversas linhagens de *Azospirillum* produzem compostos indólicos. Esses compostos podem ter atuado na divisão celular do hipocótilo, embora o aumento na porcentagem de germinação das sementes e no comprimento da parte aérea observados aqui sejam considerados respostas típicas das giberelinas.

No que se refere ao comprimento da raiz, as duas espécies de bactérias favoreceram o aumento do comprimento. O que diferiu foram as cultivares de soja. Para a cultivar M8808 IPRO, o *Bradyrhizobium japonicum* favoreceu para o maior comprimento da raiz, enquanto para a cultivar FTR 4280 IPRO a maior média se deu quando as sementes foram inoculadas com *Azospirillum brasilense*.

Para a massa seca, conforme se vê na Figura 5, que seu maior acúmulo se deu quando as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. O aumento da biomassa durante o estágio de plântula pode ter ocorrido devido, em parte, ao desenvolvimento diferencial do embrião, induzido por reguladores de crescimento bacteriano, que penetram no revestimento de sementes junto com a água e aceleram o crescimento radicular com aumentos concomitantes na captação de água e minerais.

É notório o benefício da inoculação no desempenho fisiológico das sementes, conforme discutido acima. Com relação às doses, percebeu-se, neste estudo, uma melhor resposta quando inoculados entre 200 ml e 300 ml/50 kg de sementes, para o *Azospirillum brasilense* (Figuras 1, 3, 4 e 5), e entre 200 ml e 230 ml, para o *Bradyrhizobium japonicum* (Figuras 1, 3 e 5). A dose recomendada do produto comercial para ambas as bactérias é de 100 ml/50 kg de sementes (BIOMA, [2020?]; TRADECORP, [2020?]), entretanto os produtores optam pela dose de 200 ml/50 kg de sementes.

5 Conclusão

A inoculação de sementes de soja com bactérias da espécie *Azospirillum brasilense*, adotando uma dose entre 200 ml e 300 ml, favorece maior germinação e vigor de sementes de soja.

A inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*, nas doses ente 200 ml e 230 ml, promove maior acúmulo de massa seca em plântulas de soja.

Para uma melhor compreensão do efeito da inoculação no desempenho inicial da semente, é interessante realizar pesquisas com a coinoculação das bactérias estudadas bem como aprofundar o estudo com o perfil hormonal, para se obter um melhor entendimento.

Referências

ARMENDARIZ, A. L.; TALANO, M. A.; NICOTRA, M. F. O.; ESCUDERO, L.; BRESER, M. L.; PORPORATTO, C.; AGOSTINI, E. Impact of double inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* E109 and *Azospirillum brasilense* Az39 on soybean plants grown under arsenic stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 138, p. 26-35, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.02.018>.

ARSHAD, M.; FRANKENBERGER JUNIOR, W. T. Plant growth-regulating substances in the rhizosphere: microbial production and functions. **Advances in Agronomy**, v. 62, p. 45-151, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60567-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60567-2).

BIOMA. BiomaBrady Soja: líquido. [2020?]. Disponível em: <https://www.bioma.ind.br/produto/bioma-brady-soy-liquid>. Acesso em: 28 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 398 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 31 dez. 2020.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.

CASSÁN, F.; PERRIG, D.; SGROY, V.; MASCIARELLI, O.; PENNA, C.; LUNA, V. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). **European Journal of Soil Biology**, v. 45, n. 1, p. 28-35, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.08.005>.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos:** v. 8 – Safra 2020, n. 3 – Terceiro levantamento. Brasília, DF: CONAB, 2020. p. 1-86. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/33204_cde9c4387246e0183dce957d4d6478b7. Acesso em: 8 set. 2022.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013.** Londrina: Embrapa Soja, 2011. (Sistemas de Produção, 15). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44954/1/TEC.-PROD.15.pdf>. Acesso em: 8 set. 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia. v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

FIPKE, G. M.; CONCEIÇÃO, G. M.; GRANDO, L. F. T.; LUDWIG, R. L.; NUNES, U. R.; MARTIN, T. N. Co-inoculation with diazotrophic bacteria in soybeans associated to urea topdressing. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 5, p. 522-533, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016405001316>.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Wheat yield in the Cerrado as affected

by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 794-805, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900012>.

ITURRALDE, E. T.; STOCO, M. C.; FAURA, A.; MÓNACO, C. I.; CORDO, C.; PÉREZ-GIMÉNEZ, J.; LODEIRO, A. R. Coinoculation of soybean plants with *Bradyrhizobium japonicum* and *Trichoderma harzianum*: coexistence of both microbes and relief of nitrate inhibition of nodulation. **Biotechnology Reports**, v. 26, e00461, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00461>.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.

TRADECORP. **Azzofix**. [2020?]. Disponível em: <https://tradecorp.com.br/produtos/azzofix>. Acesso em: 8 set. 2022.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, n. 12, p. 1591-1601, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90311-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90311-5).

RADWAN, T. E.-S. E.-D.; MOHAMED, Z. K.; REIS, V. M. Efeito da inoculação de *Azospirillum e Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 987-994, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004001000006>.

ROCHA, G. C.; RUBIO NETO, A.; CRUZ, S. J. S.; CAMPOS, G. W. B.; CASTRO, A. C. O.; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas e armazenadas. **Científic@ Multidisciplinary Journal**, v. 4, n. 1, p. 50-65, 2017. DOI: <https://doi.org/10.29247/2358-260X.2017v4i1.p50-65>.

SANTINI, J. M. K.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S.; COAGUILA, D. N.; BOLETA, E. H. M. Doses and forms of *Azospirillum brasilense* inoculation on maize crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 373-377, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p373-377>.

SOUZA, F. G.; SILVA, E. L. S.; ALVAREZ, R. C. F.; ZANELLA, M. S.; LIMA, S. F. Inoculation and co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* in soybean culture. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, e170963553, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3553>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

ZILLI, J. E.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R. J.; ROUWS, J. R. C.; CUNHA, M. H. Inoculação da soja com *Bradyrhizobium* no sulco de semeadura alternativamente à inoculação de sementes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1875-1881, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600011>.