
RESPOSTA DE CULTIVARES DE AMENDOIM À COINOCULAÇÃO DE *Bradyrhizobium* E *Azospirillum*

MOLINA, Lucila Silva¹
PAULINO, Maickon Alexandri Rezende²
STEINER, Fábio³
ZUFFO, Alan Mário⁴
COSTA, Felipe Augusto da Silva⁵

Recebido em: 2023.01.25

Aprovado em: 2023.04.30

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.4093

RESUMO: A coinoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) e de rizóbio pode ter efeito benéfico na nodulação e no crescimento das plantas leguminosas, sendo alternativa para potencializar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a produtividade da cultura. O estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* de forma isolada e combinada na nodulação e no crescimento de duas cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cultivadas em solo arenoso do Cerrado. Os tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos casualizados (DBC) em um esquema fatorial 2 × 4: duas cultivares de amendoim [IAC Tatu ST (porte ereto) e Runner IAC 886 (porte rasteiro)] e quatro tratamentos de inoculação das sementes [controle (sem inoculação), inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*, inoculação com *Azospirillum brasilense* e coinoculação com *B. japonicum* e *A. brasilense*], com quatro repetições. Aos 60 dias após a semeadura, foram avaliados nodulação das raízes, o crescimento e a partição de matéria seca das plantas. Os resultados evidenciaram que a inoculação das sementes de amendoim com *B. japonicum* e *A. brasilense* de forma isolada e/ou combinada pode proporcionar sustentabilidade para o sistema de produção de amendoim na região do Cerrado por melhorar a nodulação das raízes e o crescimento das plantas.

Palavras-chave - *Arachis hypogaea* L. Bactéria promotora de crescimento de planta. Rizóbio. Nodulação.

RESPONSE OF PEANUT CULTIVARS TO COINOCULATION OF *Bradyrhizobium* and *Azospirillum*

SUMMARY: The coinoculation of plant growth-promoting bacteria (BPCP) and rhizobium can have a beneficial effect on the nodulation and growth of leguminous plants, being an alternative to enhance biological nitrogen fixation (BNF) and crop productivity. The study aimed to evaluate the efficiency of the inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* in an isolated and combined way on the nodulation and growth of two peanut cultivars (*Arachis hypogaea* L.) cultivated in a sandy soil of the Cerrado. The treatments were

¹ ORCID-ID- <https://orcid.org/0000-0001-8876-2613> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Departamento de pesquisa, setor de fitoecnia, área: Agronomia

² ORCID-ID- <https://orcid.org/0000-0003-2602-4169> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Departamento de pesquisa, setor de fitoecnia, área: Agronomia

³ ORCID-ID- <https://orcid.org/0000-0001-9091-1737> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Departamento de pesquisa, setor de fitoecnia, área: Agronomia

⁴ ORCID-ID- <https://orcid.org/0000-0001-9704-5325> Universidade Estadual de Maringá. Departamento de pesquisa, setor de fitoecnia, área: Agronomia

⁵ ORCID-ID- <https://orcid.org/0000-0002-4578-5599> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Departamento de pesquisa, setor de fitoecnia, área: Agronomia

arranged in a randomized block design (DBC) in a 2×4 factorial scheme: two peanut cultivars [IAC Tatu ST (upright height) and Runner IAC 886 (creeping height)] and four seed inoculation treatments [control (without inoculation), inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*, inoculation with *Azospirillum brasilense* and coinoculation with *B. japonicum* and *A. brasilense*], with four replications. At 60 days after sowing, root nodulation, plant growth and dry matter partitioning were evaluated. The results showed that the inoculation of peanut seeds with *B. japonicum* and *A. brasilense* in isolation and/or in combination can provide sustainability for the peanut production system in the Cerrado region by improving root nodulation and plant growth.

Keywords - *Arachis hypogaea* L. Plant growth-promoting bacteria. Rhizobia. Nodulation.

INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) trata-se de uma planta dicotiledônea, herbácea, e de ciclo anual, pertencente à família Fabaceae, sendo uma das principais culturas oleaginosas cultivadas no Brasil e no mundo. É uma planta originária da América do Sul e possui elevada importância econômica no Brasil (SANTOS *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2014; LISBOA *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2019), especialmente devido à suas múltiplas utilidades e alto teor de proteínas (22 a 30%) em seus grãos, tornando-se excelente escolha de alimento para o consumo *in natura* (FIGUEIREDO, 2018).

A cultura do amendoim tem sido amplamente cultivada nas diferentes regiões do país (SILVA *et al.*, 2018), sendo uma excelente alternativa de diversificação para os agricultores familiares e para o setor sucroenergético. Nos últimos anos, tem-se intensificado a busca por tecnologias e práticas agrícolas sustentáveis que melhorem o ambiente desenvolvimento das plantas e otimizem o uso dos recursos naturais disponíveis (BERETA *et al.*, 2022). Neste contexto, o uso de técnicas biológicas pode ser excelente alternativa para melhorar a eficiência de absorção dos nutrientes e crescimento das plantas, além de reduzir o uso de fertilizantes minerais no cultivo do amendoim.

Dentre as técnicas biológicas que podem ser empregadas no cultivo da cultura do amendoim, o uso de bactérias promotoras de crescimento de planta (BPCP) em associação a inoculação das sementes com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp. tem-se destacado nos últimos anos (SANTOS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017; STEINER *et al.*, 2018; FREITAS *et al.*, 2020; STEINER *et al.*, 2021). Estas bactérias encontradas na região da rizosfera são capazes de estimular o crescimento das plantas por induzir a fixação biológica de nitrogênio (FBN), solubilização de fosfato e a produção de sideróforos e de hormônios vegetais como auxinas, citocininas e giberelinas (HUNGRIA *et al.*, 2013; CHIBEBA *et al.*, 2015; FUKAMI *et al.*, 2018; CASSÁN *et al.*, 2020). As rizobactérias mais estudadas são as pertencentes aos gêneros

Bradyrhizobium, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Azospirillum* por favorecerem o desenvolvimento das plantas (AGAMI *et al.* 2016; VURUKONDA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2019; FREITAS *et al.* 2020; LIMA *et al.*, 2021; STEINER *et al.*, 2021).

Santos *et al.* (2017) verificaram que a coinoculação das sementes de amendoim com *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasiliense* melhorou a nodulação e a produção de matéria seca das plantas. Steiner *et al.* (2021) avaliando a eficiência agrônômica da co-inoculação de *B. japonicum* e *A. brasiliense* na cultura do amendoim, verificaram que a inoculação das sementes com *B. japonicum* aumentou a produtividade de grãos em 24,0%, ao passo que a co-inoculação de *B. japonicum* e *A. brasiliense* resultou no incremento de 25,3% em comparação ao tratamento controle não inoculado. No entanto, Steiner *et al.* (2018) reportaram que a coinoculação de *B. japonicum* e *A. brasiliense* não promoveu melhoria na nodulação e no crescimento das plantas de amendoim. Portanto, estes resultados contraditórios indicam que novos estudos devem ser realizados para testar os efeitos benéficos da co-inoculação de *B. japonicum* e *A. brasiliense* em diferentes cultivares de amendoim.

O presente estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a eficiência da inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasiliense* de forma isolada e combinada na nodulação e no crescimento de duas cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cultivadas em um solo arenoso do Cerrado.

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi conduzido na casa de vegetação na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, em Cassilândia, MS (19°05'30" S; 51°48'50" W e altitude média de 540 m), no período de outubro a dezembro de 2019. Foram utilizados vasos plásticos com 8 dm³ de capacidade, preenchidos com 7,5 dm³ de solo arenoso peneirado em malha de 5,0 mm, proveniente da camada superficial de 0,0–0,20 m de um Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico – NQo (SANTOS *et al.*, 2018), coletado em uma área de pastagem nativa sem histórico de cultivo agrícola. As principais características químicas do solo foram as seguintes: pH (CaCl₂) = 4,6, matéria orgânica = 14 g dm⁻³, P (Mehlich-1) = 7,8 mg dm⁻³, K⁺ = 0,16 cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ = 1,50 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺ = 0,50 cmol_c dm⁻³, H⁺ + Al³⁺ = 3,60 cmol_c dm⁻³, Al³⁺ = 0,25 cmol_c dm⁻³, CTC = 5,80 cmol_c dm⁻³ e 38% de saturação por bases. Todas as análises químicas foram efetuadas seguindo indicações de Teixeira *et al.* (2017).

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação de 1,10 g de calcário por dm^3 de solo ($\text{CaO} = 38\%$; $\text{MgO} = 11\%$; $\text{PRNT} = 85\%$; e, $\text{PN} = 62\%$), visando elevar a saturação por base do solo a 70% (SOUSA; LOBATO, 2004). Após a aplicação do calcário, o solo foi homogeneizado, umedecido até próximo da capacidade de retenção de água, e incubado por 30 dias. Decorrido esse período, o solo foi fertilizado com 20 mg dm^{-3} de N (ureia), 250 mg dm^{-3} de P (superfosfato simples), 100 mg dm^{-3} de K (cloreto de potássio), 15 mg dm^{-3} de S (gesso agrícola), 2 mg dm^{-3} de Cu (sulfato de cobre), 2 mg dm^{-3} de Zn (sulfato de zinco), 1 mg dm^{-3} de Mo (molibdato de amônio) e 1 mg dm^{-3} de B (ácido bórico), seguindo as recomendações de Novais *et al.* (1991) para ensaios conduzidos em vasos sob condições controladas.

Os vasos foram dispostos em um delineamento de blocos casualizados em um esquema fatorial 2×4 , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelo uso de duas cultivares de amendoim [IAC Tatu ST (porte ereto) e Runner IAC 886 (porte rasteiro)] e da aplicação de quatro tratamentos de inoculação das sementes [controle (sem inoculação), inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*, inoculação com *Azospirillum brasilense* e coinoculação com *B. japonicum* e *A. brasilense*]. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico de 8 dm^3 contendo duas plantas, perfazendo um total de 32 vasos.

A inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum* foi realizada com a aplicação do inoculante comercial líquido Simbiose Nod Soja[®] (Simbiose: Agrotecnologia Biológica) contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 (concentração mínima de $7,2 \times 10^9$ células viáveis por mL), na dose de 3,0 mL/kg de semente. A inoculação de *Azospirillum brasilense* foi realizada com a aplicação do inoculante comercial líquido AzoTotal[®] (Total Biotecnologia) que contém as estirpes AbV5 e AbV6 (concentração mínima de $2,0 \times 10^8$ células viáveis por mL), na dose de 4,0 mL/kg de semente. A coinoculação das sementes foi realizada misturando as duas rizobactérias, nas mesmas proporções utilizadas quando inoculadas isoladamente, ou seja, 3,0 mL do inoculante contendo *B. japonicum* + 4,0 mL de inoculante contendo *A. brasilense* por quilograma de semente de amendoim. As quantidades de inoculantes utilizadas foram dissolvidas em uma solução contendo 2 mL/kg de semente de aditivo para inoculante Protege[®] TS (Total Biotecnologia) e, então, ambos os produtos (inoculante + aditivo) foram aplicadas nas sementes 30 minutos após a aplicação de Mo. O aditivo para inoculante é constituído de metabólitos ativos de bactérias, complexo de açúcares e biopolímeros encapsulantes e tem a finalidade de melhorar a proteção e a viabilidade das bactérias sobre as sementes.

A semeadura foi realizada no dia 12/10/2019, utilizando-se os cultivares de amendoim IAC Tatu ST e RUNNER IAC 886. O cultivar IAC Tatu ST possui porte ereto, ciclo precoce de 90 a 100 dias, e peso médio de 100 grãos de 40–46 g, ao passo que o cultivar RUNNER IAC 886 possui porte rasteiro, ciclo longo de 125 a 130 dias, e peso médio de 100 grãos de 48–60 g. Foram semeadas 10 sementes por vaso, e após a estabilização da emergência das plântulas, realizou-se o desbaste deixando-se duas plantas por vaso. O teor de água do solo foi monitorado diariamente e mantido próximo da capacidade de retenção de água com irrigações diárias pelo sistema de microaspersão.

Durante a fase de estabelecimento das plantas, o número de plântulas emergidas foi mensurado diariamente até o 15^o dia após a semeadura, e com os valores contabilizados, foram calculados a porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME).

O IVE foi calculado utilizando-se a equação proposta por Maguire (1962): $IVE = (E_1/N_1) + (E_2/N_2) + (E_3/N_3) + \dots + (E_N/N_N)$, onde, IVE = índice de velocidade de emergência (plântulas/dia); $E_1, E_2, E_3, \dots, E_N$ = número de plântulas emergidas computadas na primeira, segunda, terceira e última contagem; $e, N_1, N_2, N_3, \dots, N_N$ = número de dias da semeadura à primeira, segunda, terceira e última contagem. O TME foi calculado através da proposta por Labouriau (1983): $TME = \Sigma(N_i T_i) / \Sigma N_i$, onde, TME = tempo médio de emergência (dias); N_i = número de plântulas emergidas no intervalo entre cada contagem; e, T_i = tempo decorrido entre o início da emergência e a i-ésima contagem.

Aos 60 dias após a semeadura, no início do florescimento do amendoim, as plantas foram colhidas e as seguintes características morfológicas foram avaliadas: número de folhas (NF), contando-se todas as folhas desenvolvidas presentes na planta; altura de planta (AP), medindo-se a haste principal do colo até o meristema apical com o auxílio de régua graduada em centímetro (cm); número de nódulos (NN), obtido pela contagem do número de nódulos presentes nas raízes. Em seguida, os nódulos foram destacados e colocados em estufa por 48 horas à 65 °C com pesagem do material seco em balança analítica com precisão de 0,0001 g e, então, calculado a massa de matéria seca dos nódulos.

O volume radicular (VR) foi determinado pelo método de deslocamento de água, utilizando uma proveta de 100 mL graduada em mililitros (mL), portanto, com precisão de $\pm 1,0$ cm³. A área foliar (AF) foi determinada seguindo metodologia proposta por Benincasa (2003), com modificações. Após a separação de todas as folhas das plantas, foram retirados 10 discos foliares de área conhecida (2,0 cm²), que foi considerada a área foliar da amostra (AF_{Amostra}). Em seguida, após a secagem em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, por 48

horas, foi determinada a massa seca da amostra (MS_{Amostra}) e a massa seca das folhas (MSF). A área foliar total da planta (AF) foi obtida através da seguinte equação: $AF = [(AF_{\text{Amostra}} \times MSF)/MS_{\text{Amostra}}]$.

Para a determinação da matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e das raízes (MSR), as plantas foram seccionadas em folha, caule e raiz e, em seguida, acondicionadas em sacos de papel, colocadas para secar em estufa de circulação de ar forçada à 65 °C por 72 horas e, posteriormente, pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g, sendo os resultados expressos em g/planta. A matéria seca da parte aérea (MSPA) foi obtida com a soma da massa seca das folhas com a massa seca do caule, e a matéria seca total (MST) foi obtida com a somatória de todas as partes da planta (folhas, caule e raízes).

Os dados foram previamente testados para verificação das hipóteses estatísticas de homoscedasticidade das variâncias (Teste de Levene; $p > 0,05$) e de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk; $p > 0,05$) por meio do software estatístico Action Stat Pro[®] versão 3.6 para Windows (Estatcamp – Consultoria Estatística e Qualidade, Campinas, SP). Em seguida, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e os efeitos significativos do teste F de Fisher–Snedecor ($p \leq 0,05$) foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar[®] versão 5.6 para Windows (FERREIRA, 2014).

RESULTADO E DISCUSSÃO

A inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e/ou *Azospirillum brasilense* de forma isolada ou combinada não resultou em efeito significativo ($p > 0,05$) na emergência das plantas de amendoim (Tabela 1). No entanto, o índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME) foram significativamente influenciados ($p < 0,05$) pela (co)inoculação das sementes com *B. japonicum* e/ou *A. brasilense* (Tabela 1). A coinoculação das sementes com *B. japonicum* e *A. brasilense* resultou no maior valor do índice de velocidade de emergência das plântulas quando comparado com a inoculação apenas de *A. brasilense*. Por sua vez, a inoculação isolada de *B. japonicum* resultou no menor tempo médio de emergência das plantas quando comparado ao tratamento controle sem inoculação (Tabela 1).

Tabela 1. Efeitos da (co)inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e/ou *Azospirillum brasilense* na emergência, índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência das plântulas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cultivadas em um solo arenoso do Cerrado.

Fontes de variação	Emergência de plântulas (%)	Índice de velocidade de emergência (plantas/dia)	Tempo médio de emergência (dias)
Cultivar			
IAC Tatu ST	86 a	1,81 a	5,39 a
Runner IAC 886	93 a	1,43 b	8,97 b
Tratamento de Inoculação			
Controle	91 a	1,63 ab	7,70 b
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	89 a	1,69 ab	6,71 a
<i>Azospirillum brasilense</i>	89 a	1,40 b	7,33 ab
<i>B. japonicum</i> + <i>A. brasilense</i>	89 a	1,76 a	6,97 ab
Teste F		Valor de F	
Bloco	0,28 ^{NS}	2,20 ^{NS}	6,45 ^{NS}
Cultivar (C)	4,26 ^{NS}	24,74 ^{**}	266,24 ^{**}
Inoculação (I)	0,17 ^{NS}	4,40 [*]	3,86 [*]
C × I	0,15 ^{NS}	0,06 ^{NS}	3,07 ^{NS}
CV (%)	9,57	13,36	8,64

Valores médios representados por letras distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{NS}: não significativo pelo Teste F de Fisher-Snedecor. * e **: significativo à 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F de Fisher-Snedecor. CV: coeficiente de variação.

Avaliando os efeitos da aplicação de molibdênio e da (co)inoculação com *B. japonicum* e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada, Santos *et al.* (2017) verificaram que a coinoculação das sementes não teve efeito sobre a porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência e o tempo médio de emergência das plantas de amendoim da cultivar IAC Tatu ST. Neste estudo, verificou-se que a inoculação de bactérias simbióticas e associativas teve efeito significativo sobre o índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência das plantas de amendoim, no entanto, este efeito não comprometeu o estabelecimento inicial do estande de plantas, como pode ser visualizado pela porcentagem de emergência das plantas. O estabelecimento de um estande adequado de plantas é fundamental para a obtenção altos níveis de produtividade na cultura do amendoim.

A inoculação com *B. japonicum* e *A. brasilense* de forma isolada e combinada afetou significativamente ($p < 0,05$) a altura de planta, número de folhas por planta e a área foliar das plantas (Tabela 2). A coinoculação das sementes com *B. japonicum* e *A. brasilense* resultou em plantas com maior altura e com maior área foliar quando comparado com as plantas inoculadas apenas com *B. japonicum* e com as plantas não inoculadas (controle). Estes resultados indicaram que a inoculação combinada de *B. japonicum* e *A. brasilense* estimulou o crescimento da parte área das plantas de amendoim. Este aumento do crescimento das plantas de amendoim com a coinoculação das sementes pode estar relacionado aos benefícios oriundos da coinoculação, por meio da associação da capacidade de fixação de N_2 pelas bactérias com *B. japonicum* com a produção de hormônios vegetais das bactérias *A. brasilense*.

Tabela 2. Efeitos da (co)inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e/ou *Azospirillum brasilense* na altura de planta, número de folhas e na área foliar das plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cultivadas em um solo arenoso do Cerrado.

Fontes de variação	Altura de planta (cm)	Número de folhas por planta	Área foliar (cm ³)
Cultivar			
IAC Tatu ST	16,9 a	29,5 b	90,5 a
Runner IAC 886	11,3 b	69,7 a	67,3 b
Tratamento de Inoculação			
Controle	12,6 bc	40,6 b	59,6 c
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	11,2 c	52,4 a	68,4 bc
<i>Azospirillum brasilense</i>	15,6 ab	51,7 ab	90,6 ab
<i>B. japonicum</i> + <i>A. brasilense</i>	17,1 a	53,6 a	97,1 a
Teste F		Valor de F	
Bloco	1,33 ^{NS}	0,30 ^{NS}	0,91 ^{NS}
Cultivar (C)	35,04* *	195,64 **	13,44**
Inoculação (I)	7,83**	4,38*	7,89**
C × I	2,87 ^{NS}	2,49 ^{NS}	3,00 ^{NS}
CV (%)	19,03	16,40	22,70

Valores médios representados por letras distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{NS}: não significativo pelo Teste F de Fisher-Snedecor. * e **: significativo à 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F de Fisher-Snedecor. CV: coeficiente de variação.

Resultados semelhantes foram reportados por Steiner *et al.* (2020), os quais verificaram que plantas de feijão inoculadas ou coinoculadas com *A. brasiliense* e *Rhizobium tropici* apresentaram maior área foliar e maior matéria seca da parte aérea quando comparado às plantas não inoculadas. Bulegon *et al.* (2017) também reportaram que a coinoculação de *B. japonicum* e *A. brasilense* resultou no aumento da altura de planta e da área foliar das plantas de soja. Segundo Fukami *et al.* (2018), o *A. brasilense* tem a capacidade de produzir hormônios vegetais, tais como o ácido indolacético (AIA) e o ácido giberélico, os quais promovem o aumento do crescimento das plantas.

A co-inoculação das sementes com *B. japonicum* e *A. brasilense* influenciou significativamente ($p < 0,05$) o número de nódulos por planta, matéria seca de nódulos e volume radicular das plantas de amendoim (Tabela 3). Os resultados reportaram que a inoculação de *B. japonicum* e *A. brasilense* de forma isolada e/ou combinada resultou no aumento no número do número de nódulos, matéria seca de nódulos e volume radicular quando comparado às plantas não inoculadas. O aumento no número de nódulos por planta obtido com a coinoculação das sementes com *B. japonicum* e *A. brasilense* pode ter sido devido ao efeito sinérgico destas duas bactérias em aperfeiçoar a capacidade da formação dos nódulos radiculares em plantas leguminosas.

Santos *et al.* (2014) analisando o efeito da inoculação de diferentes estirpes de rizóbio no desenvolvimento inicial do amendoim cv. IAC Tatu ST, constataram que a inoculação das sementes resultou no aumento do número de nódulos e na matéria seca de nódulos por planta. A cultura do amendoim pode estabelecer ligação com várias estirpes do gênero *Rhizobium* sp. e *Bradyrhizobium* sp. Todavia, para elevar a eficiência da inoculação é de essencial importância que as estirpes do inoculante tenha progressão da capacidade de competir com as estirpes de rizóbios nativas do solo.

Tabela 3. Efeitos da (co)inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e/ou *Azospirillum brasilense* no número de nódulos, matéria seca dos nódulos e no volume radicular das plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cultivadas em um solo arenoso do Cerrado.

Fontes de variação	Número de nódulos	Matéria seca de nódulos (mg)	Volume radicular (dm ³)
Cultivar			
IAC Tatu ST	188 a	90 a	13,6 b
Runner IAC 886	179 a	101 a	17,8 a
Tratamento de Inoculação			
Controle	95 b	53 b	15,8 ab
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	185 b	105 ab	12,5 b
<i>Azospirillum brasilense</i>	146 b	62 b	18,0 a
<i>B. japonicum</i> + <i>A. brasilense</i>	310 a	161 a	16,5 ab
Teste F			
Bloco	2,82 ^{NS}	1,71 ^{NS}	0,87 ^{NS}
Cultivar (C)	0,13 ^{NS}	0,43 ^{NS}	13,43**
Inoculação (I)	15,27* *	8,50**	4,32*
C × I	3,11 ^{NS}	1,18 ^{NS}	3,05 ^{NS}
CV (%)	36,58	50,06	20,12

Valores médios representados por letras distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{NS}: não significativo pelo Teste F de Fisher-Snedecor. * e **: significativo à 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F de Fisher-Snedecor. CV: coeficiente de variação.

Estudos realizados na cultura da soja apontam que a co-inoculação de *B. japonicum*, *B. diazoefficiens* e *A. brasilense* cepas Ab-V5 e Ab- V6 demonstraram efeitos positivos em relação à morfologia das raízes, sendo capaz de aumentar ramificações radiculares, maior comprimento específico de raiz, maior comprimento de pelos radiculares, como também maior número de nódulos, se comparado com plantas inoculadas apenas com *Bradyrhizobium spp.* (RONDINA *et al.*, 2020).

A inoculação das sementes com *B. japonicum* e *A. brasilense* de forma isolada não se mostrou uma prática agrônômica eficiente, por resultar em capacidade de nodulação equivalente ao tratamento controle, sem inoculação (Tabela 3). Resultados semelhantes foram reportados por Chibeba *et al.* (2015), o quais verificaram que a co-inoculação da soja com *A. brasilense* e *B. japonicum* resultou no incremento de 48% no número de nódulos por planta em relação às plantas inoculadas apenas com *B. japonicum*. Estudos realizados com a cultura do feijão demonstram que plantas inoculadas apenas com *A. brasilense*, apresentaram menor número de nódulos, quando comparado com às plantas inoculadas apenas com *R. tropici* ou plantas co-inoculadas com *A. brasilense* e *R. tropici* (STEINER *et al.*, 2020).

Além dos benefícios já conhecidos sobre *A. brasilense*, esta bactéria também é capaz de promover maior desenvolvimento de raízes, pelos radiculares e raízes laterais, com isso, maior probabilidade de infecção radicular da planta pela bactéria, originando mais sítios de nodulações (CHIBEBA *et al.*, 2015).

O efeito benéfico da co-inoculação de rizóbio e *Azospirillum* na nodulação tem sido comumente observada em várias culturas, como a soja (CHIBEBA *et al.*, 2015), feijão (PERES *et al.*, 2016; STEINER *et al.*, 2019) e amendoim (SILVA *et al.*, 2017; FREITAS *et al.*, 2020; STEINER *et al.*, 2021).

A inoculação das sementes com *B. japonicum* e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada resultou na maior produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e total das plantas de amendoim comparado às plantas não inoculadas (Tabela 4). O maior crescimento das plantas de amendoim com a coinoculação das sementes pode estar diretamente ligada aos efeitos benéficos destas bactérias, por meio da maior capacidade de fixação de N₂ e maior produção de hormônios vegetais.

Resultados semelhantes foram reportados por Zuffo *et al.* (2015), os quais avaliaram a inoculação de *A. brasilense* isoladamente ou em coinoculação com *B. japonicum* na cultura da soja, e verificaram que não houve efeito significativo da inoculação na matéria seca das raízes,

matéria seca dos nódulos e no volume radicular. A inoculação e/ou co-inoculação de *A. brasilense* e *R. tropici* em plantas de feijão também resultaram no maior crescimento da parte aérea e das raízes das plantas quando comparadas com plantas não inoculadas (STEINER *et al.*, 2020).

Tabela 4. Efeitos da (co)inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e/ou *Azospirillum brasilense* na produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e matéria seca total das plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cultivadas em um solo arenoso do Cerrado.

Fontes de variação	Matéria seca da parte aérea (g)	Matéria seca das raízes (g)	Matéria seca total (g)
Cultivar			
IAC Tatu ST	3,58 b	1,30 b	4,88 b
Runner IAC 886	6,36 a	2,63 a	9,00 a
Tratamento de Inoculação			
Controle	4,03 b	1,61 b	5,64 b
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	4,56 ab	1,87 ab	6,43 ab
<i>Azospirillum brasilense</i>	5,72 a	2,33 a	8,05 a
<i>B. japonicum</i> + <i>A. brasilense</i>	5,57 ab	2,05 ab	7,63 ab
Teste F			
Bloco	0,96 ^{NS}	0,94 ^{NS}	0,99 ^{NS}
Cultivar (C)	* 42,26*	* 54,64*	55,33**
Inoculação (I)	3,61*	2,83 ^{NS}	3,99*
C × I	1,46 ^{NS}	2,17 ^{NS}	1,02 ^{NS}
CV (%)	24,31	26,01	22,56

Valores médios representados por letras distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{NS}: não significativo pelo Teste F de Fisher–Snedecor. * e **: significativo à 5% e 1%, respectivamente, pelo Teste F de Fisher–Snedecor. CV: coeficiente de variação.

Nascimento *et al.* (2023) também reportam que plantas de feijão-caupi, co-inoculadas com *Bradyrhizobium spp. A. brasilense* possuem maior diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, número de vagens, número de grãos por vagem, produção de grãos e matéria seca de nódulos. Barbosa *et al.* (2021) verificaram incremento de 10,6% na matéria seca dos nódulos e 3,2% na produtividade de grãos em plantas de soja coinoculadas com *A. brasilense e Bradyrhizobium spp.*, quando comparadas com plantas inoculadas apenas com *Bradyrhizobium spp.*

Em geral, os resultados apresentados neste estudo demonstraram o efeito benéfico da co-inoculação *Bradyrhizobium e Azospirillum* em melhorar a nodulação e o crescimento das plantas de amendoim. No entanto, estes efeitos benéficos precisam ser comprovados em novos experimentos em condições de campo.

CONCLUSÃO

A inoculação das sementes de amendoim com *Bradyrhizobium japonicum e Azospirillum brasilense* de forma isolada e/ou combinada pode proporcionar sustentabilidade para o sistema de produção de amendoim na região do Cerrado por melhorar a nodulação das raízes e o crescimento das plantas.

REFERÊNCIAS

AGAMI, R. A.; MEDANI, R. A.; ABD EL-MOLA, I. A.; TAHA, R. S. Exogenous application with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) or proline induces stress tolerance in basil plants (*Ocimum basilicum* L.) exposed to water stress. **International Journal of Environmental & Agriculture Research**, v. 2, n. 5, p. 78-92, 2016.

BARBOSA, J. Z.; HUNGRIA, M.; SENA, J. V. S.; POGGERE, G.; REIS, A. R.; CORRÊA, R. S. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with b and *Bradyrhizobium spp.* in Brazil. **Applied Soil Ecology**, v.163, p.1-10, 2021.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103913>.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal/SP: FUNEP, 2003. 41p.

BERETA, S. F.; ROSA, E. F. F.; KASEKER, J. F.; NOHATTO, M. A.; LUZ, S. Coinoculação de produtos biológicos na cultura do amendoim. **Agrarian**, v.15, n.55, e15717, 2022.
Doi: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v15i55.15717>.

BULEGON, L. G.; GUIMARAE, V. F.; KLEIN, J.; BATISTTUS, A. G.; INAGAKI, A. M.; OFFMANN, L. C.; SOUZA, A. K. P. Enzymatic activity, gas exchange and production of soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*. **Aust. J. Crop Sci**, v.11, n.16, p. 888, 2017.

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. L. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F.O.; SOUZA E.; ZORITA, M. D.; BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p.461-479, 2020.
Doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>.

CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Science**, v. 6, n. 10, p. 1641- 1649, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n.2, p. 109-112, 2014.

FIGUEREDO, L. F.; MAIA JÚNIOR, S. O.; FIGUEREDO, J. P.; SILVA, J. N.; FERREIRA, R. S.; ANDRADE, R. Desempenho agrônômico de amendoim sob diferentes fontes e doses de biofertilizantes. **Acta Iguazu**, v. 7, n. 5, p. 17-26, 2018.

FIPKE, G. M.; CONCEICAO, G. M.; GRANDO, L. F.; TELEKEN, L.; NUNES, R. L.; UBIRAJARA, 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.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, n. 73, p. 1-12, 2018.
Doi: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology Fertility of Soils**, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013.

LABOURIAU, L.; G. **A germinação das sementes**, Monografias Científicas, Washington, USA, 1983. 170 p.

LIMA, A. F. S.; SANTOS, M. F.; OLIVEIRA, M. L.; SOUZA, G. G.; MENDES-FILHO, P. F.; LUZ, L. N. Physiological responses of inoculated and uninoculated peanuts under saline stress. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.16, n.1, 2021.
Doi: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2643>.

LISBOA, L. A. M.; VIANA, R. S.; RIBEIRO, F. V.; FIGUEIREDO, P. A. M.; RAMOS, S. B. Desenvolvimento inicial do amendoimzeiro sob diferentes densidades de matocompetição com *Urochloa*. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.6, n.2, p. 45-51, 2019.
Doi: <https://doi.org/10.32404/rean.v6i2.1670>.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

NASCIMENTO, E. C. S.; SOUZA, A. R.; NASCIMENTO, R.; SILVA, A. A. R.; BEZERRA, C. V. C.; LIMA, R. F.; GUIMARÃES, R. F. B.; BATISTA, M. C. Co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* in cowpea under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, n.1, p. 3-8, 2023.

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n1p3-8>.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. *In*: OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E.; ARAÚJO, J.D.; LOURENÇO, S., eds. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília/DF: Embrapa-SEA, 1991. 189-254p.

PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C. Co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 198-207, 2016.

RONDINA, A. B. L.; SANZOVO, A. W. S.; GUIMARÃES G. S.; WENDLING, J. R.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. **Biol Fertil Soils**, v.56, p. 537-539, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0>.

SANTOS, C. C.; GUIMARÃES, S. L.; FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E. M.; POLIZEL, A. C. Crescimento inicial de plantas de amendoim inoculadas com rizóbio isolado de feijão caupi. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, v. 10, n. 18, p. 1097-1105, 2014.

SANTOS, D. M. S.; BUSH, A.; SILVA, E. R.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. Bactérias fixadoras de nitrogênio e molibdênio no cultivo do amendoim em solo do Cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n.1, p. 84-92, 2017.

SANTOS, H. G.; *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. SiBCS. Embrapa, 5 ed., 2018.

SANTOS, R. C.; FREIRE, R. M. M.; LIMA, L. M. **O agronegócio do amendoim no Brasil**. 2. ed. Brasília/DF: Embrapa, 2013.

SILVA, E. R. S.; BUSH, A.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. Coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* em sementes de amendoim de diferentes tamanhos. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.4, n.1, p. 93-102, 2017.

SILVA, R. M.; VIANA, J. S.; GONÇALVES, E. P.; MORAES, G. S. Eficiência da aplicação de nutrientes via semente e foliar na cultura do amendoim. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.5, n.2, p. 97-101, 2018.

Doi: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.1533>.

SILVA, E. R.; ZOZ, J.; OLIVEIRA, C. E. S.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; ZOZ, T.; VENDRUSCOLO, E. P. Can co-inoculation of *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* alleviate adverse effects of drought stress on soybean (*Glycine max* L. Merrill.)? **Archives of Microbiology**, v.201, n.3, p. 325-335, 2019.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília/DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA, F. E. C.; SOUSA, G. G.; SOUZA, M. V. P.; FREIRE, M. H. C.; LUZ, L. N.; SILVA, F. D. B. Produtividade de diferentes genótipos de amendoim submetidos a diferentes formas de adubação. **Nativa**, v.7, n.4, p. 383-388, 2019.

Doi: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i4.6683>.

SOUSA, G. G.; LIMA, F. A.; GOMES, K. R.; VIANA, T. V. A.; COSTA, F. R. B.; AZEVEDO, B. M.; MARTINS, L. F. Irrigação com água salina na cultura do amendoim em solo com biofertilizante bovino. **Nativa**, v.2, n.2, p. 89-94, 2014.

Doi: <https://doi.org/10.31413/nativa.v2i2.1506>.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; SANTOS, D. M. S.; BUSH, A. Molibdênio e coinoculação de sementes de amendoim com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* em solo do Cerrado. **Acta Iguazu**, v.7, n.4, p. 128-137, 2018.

STEINER, F.; FERREIRA, H. C. P.; ZUFFO, A. M. Can co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* increase common bean nodulation and grain yield. **Semina: Ciências Agrárias**, v.40, n.1, p. 81-98, 2019.

Doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p81>.

STEINER, F.; OLIVEIRA, C. E. S.; ZOZ, T.; ZUFFO, A. M.; FREITAS, R. S. Co-inoculation of common bean with *Rhizobium* and *Azospirillum* enhance the drought tolerance. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.67, n.5, p. 923-932, 2020.

Doi: <https://doi.org/10.1134/S1021443720050167>.

STEINER, F.; QUEIROZ, L.F.M.; ZUFFO, A.M.; SILVA, K.C.; LIMA, I.M.O. Peanut response to co-inoculation of *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* and molybdenum application in sandy soil of the Brazilian Cerrado. *Agronomy Journal*. v.113:623-632, 2021.

<https://doi.org/10.1002/agj2.20519>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília/DF: Embrapa Solos, 2017. 573p.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiol. Res.**, v.184, n.11, p. 13, 2016.

ZUFFO, A. M.; REZENDE, P. M.; BRUZI, A. T.; OLIVEIRA, N. T.; SOARES, I. O.; NETO G. F. G.; CARDILLO, B. E. S.; SILVA, L. O. Co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* in the soybean crop. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 87-93, 2015.