

ALYNE AYLA RODRIGUES DE SOUZA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA SOJA INOCULADA VIA SULCO COM
DIFERENTES VELOCIDADES DE SEMEADURA**

Botucatu

2024

ALYNE AYLÁ RODRIGUES DE SOUZA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA SOJA INOCULADA VIA SULCO COM
DIFERENTES VELOCIDADES DE SEMEADURA**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador(a): Paulo Roberto Arbex Silva

Botucatu

2024

S729c

Souza, Alyne Ayla Rodrigues de
Características agronômicas da soja inoculada via sulco
com diferentes velocidades de semeadura / Alyne Ayla
Rodrigues de Souza. -- Botucatu, 2025
55 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Paulo Roberto Arbex Silva

1. pulverizador de sulco. 2. fixação biológica de
nitrogênio. 3. velocidade. 4. produtividade soja. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA SOJA INOCULADA VIA SULCO COM
DIFERENTES VELOCIDADES DE SEMEADURAS

AUTORA: ALYNE AYLÁ RODRIGUES DE SOUZA

ORIENTADOR: PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Engenharia
Agrícola, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA (Participação Presencial) 
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu UNESP

p/ Prof. Dr. TIAGO PEREIRA DA SILVA CORREIA (Participação Virtual) 
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária / Universidade de Brasília

Profa. Dra. KASSANDRA SUSSI MUSTAFÉ OLIVEIRA (Participação Presencial) 
Depto. Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - Unesp

Botucatu, 21 de novembro de 2024.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por guiar meus passos e me ajudar a enfrentar os obstáculos.

À minha família pelo apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Arbex Silva, pela orientação, paciência e conhecimento à mim designados durante a pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Tiago Pereira da Silva Correia, pela amizade, confiança e ensinamentos que me deram norte na vida acadêmica durante a graduação e pós-graduação.

Aos funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) e ao Grupo de Plantio Direto (GDP) pelo apoio durante a realização do trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

RESUMO

As bactérias do gênero *Bradyrhizobium* são conhecidas por tornar o N₂ atmosférico em nitrogênio assimilável para as leguminosas, sendo fornecidas por inoculantes, líquidos ou turfosos. A prática da inoculação pode ser feita via semente ou via sulco de semeadura, sendo que via sulco requer regulação de acordo com a velocidade de semeadura. O objetivo do trabalho foi avaliar diferentes tipos de inoculação em diferentes velocidades de semeadura da soja. A pesquisa foi realizada na safra de 2022/2023, e instalada em área experimental utilizada pelo Grupo de Plantio Direto (GPD), na Fazenda Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/Unesp), em Botucatu – SP. O delineamento experimental utilizado foi em faixas e em esquema fatorial 3x3, sendo os tratamentos constituídos por três tipos de inoculação (via semente, via sulco de semeadura e sem inoculação), e três velocidades de operação (5, 7 e 9 km ha⁻¹), com quatro repetições por tratamento. O pulverizador de sulco utilizado foi da marca Orion, com tanque de inoculante de 280L de capacidade, acoplado ao chassi da semeadora. As variáveis avaliadas foram altura de plantas, diâmetro de hastes, número de vagens, número de nódulos, distribuição longitudinal, coeficiente de variação, massa de mil grãos e produtividade. A inoculação via sulco de semeadura proporcionou maiores valores de produtividade para a cultura da soja na velocidade de 5 km h⁻¹ com 5424,50 kg h⁻¹, além de resultar em maiores valores de altura de plantas, inserção da primeira vagem, diâmetro de haste, número de vagens por planta e massa de mil grãos em diferentes velocidades. Para a nodulação, embora não tenha apresentado efeito da velocidade, a aplicação via sulco obteve os maiores valores, mesmo sem diferir estatisticamente dos demais tratamentos. As formas de inoculação nas diferentes velocidades não influenciaram no coeficiente de variação de espaçamentos, espaçamentos aceitáveis, duplos e falhos entre plantas.

Palavras-chave: pulverizador de sulco; fixação biológica de nitrogênio; velocidade; produtividade soja.

ABSTRACT

Bacteria of the genus *Bradyrhizobium* are known for converting atmospheric N₂ into assimilable nitrogen for legumes, supplied by liquid or peat inoculants. Inoculation can be done via seed or furrow, with furrow inoculation requiring adjustment according to the seeding speed. The objective of this study was to evaluate different types of inoculation at different soybean seeding speeds. The research was conducted during the 2022/2023 harvest season and installed in an experimental area used by the No-Till Planting Group (GPD) at Lageado Farm, part of the School of Agricultural Sciences (FCA/Unesp), in Botucatu, São Paulo. The experimental design was strip-based and in a 3x3 factorial arrangement, with treatments consisting of three types of inoculation (seed, furrow, and no inoculation) and three operating speeds (5, 7, and 9 km ha⁻¹), with four replicates per treatment. An Orion in-furrow sprayer with a 280-L inoculant tank was used, coupled to the seeder chassis. The variables evaluated were plant height, stem diameter, pod number, nodule number, longitudinal distribution, coefficient of variation, thousand-grain mass, and yield. Inoculation via the soybean furrow yielded higher soybean yields at a speed of 5 km h⁻¹ and 5,424.50 kg h⁻¹, in addition to resulting in higher plant height, first pod insertion, stem diameter, number of pods per plant, and thousand-grain mass at different speeds. For nodulation, although speed did not affect nodulation, in-furrow application yielded the highest values, although it did not differ statistically from the other treatments. The inoculation methods at different speeds did not influence the coefficient of variation for spacing, acceptable spacing, double spacing, or gaps between plants.

Keywords: furrow sprayer; biological nitrogen fixation; speed; soybean productivity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Cultura da soja	15
2.2	Fixação Biológica de Nitrogênio	16
2.3	Tipos de inoculação	18
2.3.1	Inoculação via sementes.....	18
2.3.2	Inoculação via sulco de semeadura.....	20
2.4	Velocidade de semeadura.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	Campo experimental.....	23
3.2	Delineamento experimental e instalação do experimento	23
3.3	Insumos utilizados	24
3.3.1	Cultivar	24
3.3.2	Inoculante.....	24
3.4	Máquinas e implementos utilizados.....	24
3.5	Regulagem e calibração da inoculação via sulco e via semente	26
3.6	Altura de plantas, diâmetro de hastes e número de vagens.....	27
3.7	Número de nódulos	27
3.8	Distribuição longitudinal de sementes	28
3.9	Coeficiente de variação dos espaçamentos entre plantas (CVe)	29
3.10	População final de plantas (PF).....	29
3.11	Produtividade de grãos e MMG	30
3.12	Análise Estatística	30

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja é mundialmente demandada por seu alto teor de proteína e óleo, utilizados para alimentação animal, humana e biocombustível e o Brasil possui grande relevância na expansão da cultura, sendo o maior produtor e exportador de soja no mundo. Altos investimentos para o avanço tecnológico no manejo da oleaginosa contribuem para o aumento da produtividade e sustentabilidade, como o uso de inoculantes biológicos, plantio direto e rotação de cultura.

Processos fisiológicos da cultura como síntese de proteínas, aminoácidos, enzimas e clorofila demandam em sua grande maioria a presença de um dos macronutrientes mais exigidos pela cultura, o nitrogênio. Juntamente a isto, a leguminosa se destaca possuindo a capacidade de fornecer quantidades necessárias do nutriente através da fixação biológica de nitrogênio (FBN), processo em que bactérias fixadoras de nitrogênio, em simbiose com a planta, reduzem a adubação mineral nitrogenada e custos na produção, além de promover menor impacto ambiental.

As bactérias do gênero *Bradyrhizobium* são as mais conhecidas por tornar o N_2 atmosférico em nitrogênio assimilável para plantas leguminosas, como a soja. O processo ocorre através da infecção de bactérias nas raízes e formação de nódulos, sendo as bactérias fornecidas através de inoculantes líquidos ou turfosos, em processo denominado inoculação.

A inoculação requer cuidados específicos necessários para a sobrevivência das bactérias e viabilidade no sistema de produção, podendo ser operacionalizada via tratamento das sementes on farm ou via aplicação no sulco de semeadura. Outra forma de fornecimento dos inoculantes é através da pulverização aérea, prática que possui maior gasto operacional por necessitar do uso de pulverizadores.

Uma forma de aplicação de inoculantes crescente no mercado por maior rendimento operacional, diminui a morte das bactérias por temperatura e contato com químico e possibilita uma aplicação direcionada no solo e na semente é a inoculação via sulco de semeadura. Este tipo de inoculação conta com um tanque térmico para alojamento do produto (água + inoculante), mangueiras acopladas ao chassi da semeadora e fornece o líquido na linha de plantio em ação simultânea à deposição de sementes, com jato sólido dirigido ao sulco por pontas específicas.

Além da inoculação, o sucesso produtivo da cultura está condicionado à boas práticas de semeadura (plantabilidade), sendo a adequação da velocidade operacional fator diretamente responsável pela correta distribuição longitudinal de sementes. O uso de inoculantes via sulco de semeadura requer regulação feita assim como a aplicação de herbicidas, fungicidas e inseticidas através da pulverização terrestre, onde a velocidade de plantio altera a vazão do produto pulverizado, sendo restritas as informações sobre a influência da velocidade relacionada à eficiência da inoculação via sulco.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar diferentes tipos de inoculação em diferentes velocidades de semeadura de soja.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da soja

A soja é uma cultura oleaginosa de extrema importância mundial, destacando-se como fonte de proteína e produção de óleo vegetal, além do baixo custo relativo de sua produção (Silva *et al.*, 2022). De acordo com a Conab (2024), a safra 2023/2024 no Brasil se encerrou alcançando uma produção estimada em 146,5 milhões de toneladas de grãos, representando uma redução de 4,5% em comparação com a safra anterior ocasionada por desafios climáticos que impactaram negativamente as regiões produtoras. Em relação às exportações, 36 milhões de toneladas de grãos representaram uma queda de 34,1%, indicando que cada vez mais práticas agronômicas eficientes e sustentáveis favorecem um melhor aproveitamento nutricional da cultura, como a inoculação com microrganismos.

Se considerada em valores, a soja atinge patamares cada vez mais elevados e, segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil - CNA (CNA, 2024), a soja contribuiu com cerca de 37% do Valor Bruto da Produção (VBP) agrícola total do país, com R\$ 334,1 bilhões. Mesmo com os impasses de queda de 4,5% nos preços médios do grão, ainda obteve um aumento de 12,4% na produção (CNA, 2024), corroborando para o destaque de seu papel fundamental no Produto Interno Bruto (PIB) nacional e reforçando a sua relevância estratégica para a economia brasileira.

Foi a partir da década de 50, que registros de mecanização integral e uso de defensivos na soja possibilitaram a comercialização da cultura fora das regiões produtoras (Marques, 2023). Com a criação da Embrapa Soja em 1975 liderando pesquisas para o desenvolvimento de cultivares no Cerrado ocasionou um salto tecnológico seguido da expansão da cultura no centro oeste brasileiro (Embrapa, 2011; Embrapa, 2015). A inoculação com *Bradyrhizobium*, o sistema de plantio direto e posteriormente, a agricultura de precisão, resultaram em avanços na produtividade e sustentabilidade da cultura, que hoje marcam o Brasil como líder mundial na produção e exportação do produto (Embrapa, 2023).

Os avanços em melhoramento genético e biotecnologia nos sistemas de produção agrícola alcançaram sucesso em relação às commodities, especialmente na cultura da soja (Ferreira *et al.*, 2023), sendo que o fornecimento de elementos essenciais e

correto manejo, além de quantidades suficientes de insumos, possibilitam uma produção da cultura consideravelmente maximizada (Gomes, 2023).

2.2 Fixação Biológica de Nitrogênio

Um dos principais processos que fornecem nitrogênio à cultura da soja é a fixação biológica de nitrogênio (FBN), contribuindo com a maior parte de sua demanda por esse nutriente (Hungria et al., 2005; Mendes et al., 2020). A simbiose entre soja e bactérias do gênero *Bradyrhizobium* reduz o nitrogênio atmosférico (N_2) em formas assimiláveis pelas plantas (Moreira & Siqueira, 2006) e, no Brasil, é estimado que cerca de 70% e 85% do nitrogênio demandado pela cultura é suprido via FBN, dependendo das condições ambientais e práticas de manejo, o que diminui consideravelmente o uso da adubação nitrogenada mineral (Hungria et al., 2006; Campo et al., 2009; Embrapa Agrobiologia, 2021).

Os grãos de soja possuem elevado teor de proteína, cerca de 40% e, conseqüentemente, alta demanda de nitrogênio, elemento-chave na síntese de proteínas, acumulando cerca de 100kg a 200kg N/ha localizado principalmente nas sementes e absorvido do solo ou fornecido via fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Bohrer; Hungria, 1998). Além de reduzir a dependência de adubação nitrogenada mineral, o uso da FBN promove a sustentabilidade agrícola ao diminuir custos de produção e amenizar impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes sintéticos (Zilli et al., 2021).

O ciclo do nitrogênio é um dos processos mais relevantes para a durabilidade dos sistemas produtivos, constituído por diversas transformações bioquímicas que garantem a disponibilidade desse nutriente. Etapas como a amonificação (conversão da matéria orgânica em amônia), a nitrificação (oxidação da amônia a nitrato), a desnitrificação (redução de nitrato a gases como N_2 e N_2O), e a fixação biológica do nitrogênio, responsável por incorporar o nitrogênio atmosférico ao sistema. Essas transformações estão sujeitas a perdas por volatilização, lixiviação e emissão de óxidos de nitrogênio, exigindo estratégias de manejo adequadas para otimizar o uso do nitrogênio e reduzir impactos ambientais (Vieira, 2017).

Durante o processo da FBN, ocorre a simbiose das bactérias do gênero *Bradyrhizobium* com leguminosas como a soja, acarretando na formação de nódulos nas raízes, local onde a enzima nitrogenase transforma nitrogênio atmosférico (N_2)

em amônia (NH_3), posteriormente convertida em íons amônio (NH_4^+) assimilável pelas plantas. Aminoácidos e proteínas que garantem o crescimento vegetal são incorporados ao nitrogênio fixado, garantindo a regulação da fixação, sendo também influenciados por nutrientes minerais disponíveis no solo, como fósforo e cálcio indispensáveis para a formação e funcionamento dos nódulos (*Patriarca et al.*, 2002; *MA et al.*, 2024; *Rodrigues et al.*, 2023).

Um fator que influencia o sucesso da fixação biológica do nitrogênio é o número de células bacterianas na semente que pode ser alterada em quantidade e qualidade de acordo com o inoculante utilizado e sua distribuição e, por outro lado, o tratamento químico de sementes, como fungicidas, é um aspecto que pode influir negativamente na FBN (Frizzo, 2018).

Hungria & Nogueira (2022) relataram a importância do processo biológico da FBN, podendo suprir por completo a necessidade de nitrogênio, caso a associação desses organismos diazotróficos for eficiente, sendo a soja a cultura mais responsiva à FBN na agricultura. Algumas limitações como maior sensibilidade à estresses abióticos, risco de um crescimento inicial mais lento e exigências nutricionais dependentes da fixação do nitrogênio são acompanhadas de vantagens (comparada ao uso de fertilizantes nitrogenados), como menor custo e alto aproveitamento do nitrogênio pelas plantas, com translocação mais eficiente para os grãos, além de menor impacto ambiental e melhoria da fertilidade do solo.

O oxigênio tem papel significativo no processo, sendo sua disponibilidade afetada pela respiração e atividade da enzima nitrogenase na nodulação da soja, podendo também ter uma diminuição considerável em condições de seca ou exposição ao nitrato. Já o estresse hídrico provoca diminuição na síntese de leghemoglobina, proteína presente nos nódulos em que a FBN está ativa (coloração rósea). O Manganês participa da catálise de processos enzimáticos que favorecem a fixação de N em condições de seca e o pH e disponibilidade de alguns nutrientes, como fósforo, molibdênio e cobalto também são fatores limitantes (Souza, 2016).

De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2024), o Brasil atingiu cerca de 3 mil toneladas de fertilizantes químicos importados no mês de maio de 2024, com redução de 4,1% em relação ao ano anterior e nos meses de janeiro a maio com mais de 13 mil toneladas importadas, reduzindo 7% em relação ao mesmo período de 2023. Mesmo com a redução, o país é responsável por cerca de 8% do consumo global de fertilizantes e mais de 80% são oriundos de importações,

sendo o potássio o principal nutriente aplicado (38%), seguido do cálcio (33%) e nitrogênio (29%) (*Almeida et. al*, 2020). É possível observar uma redução nos gastos com fertilizantes nitrogenados no processo de produção se realizada a inoculação de sementes com estirpes de rizóbios, sendo o Brasil um país destaque no cenário mundial economizando bilhões de dólares com a diminuição da adubação química nitrogenada (*Silva et al.*, 2019).

2.3 Tipos de inoculação

Camara (2000) definiu a prática da inoculação como operação agrícola realizada previamente à sementeira, manual ou mecanizada, utilizando-se do veículo inoculante para obter contato físico entre a bactéria fixadora de nitrogênio e a planta hospedeira (semente), favorecendo o processo simbiótico de fixar N atmosférico no sistema radicular da planta. O sucesso deste processo está na cobertura integral da semente pelas partículas do inoculante turfoso ou líquido. É preciso se atentar à qualidade dos inoculantes utilizados, pois além de veículo é ele que atua como meio de sobrevivência das bactérias, com estirpes recomendadas para o Brasil e $1,0 \times 10^9$ unidades formadoras de colônias (UFC) por g ou mL de inoculante, quantidade mínima da mistura feita em uma saca de 50kg de sementes de soja para de obter 1.200.000 UFC/semente inoculada (Câmera, 2014).

Zilli et al. (2009) e Grisa (2020) afirmaram que no caso da utilização de inoculantes do tipo turfoso é preciso incorporá-lo homogeneizando e deixando secar à sombra após as sementes serem umedecidas com substância adesiva ou solução açucarada, em máquinas próprias, tambor giratório ou betoneira. Já no uso de inoculantes líquidos não é preciso adição de substância adesiva, sendo feita aplicação nas sementes, homogeneização e secagem à sombra. Em ambos os casos não é recomendado utilizar a semente inoculada no plantio muito tempo após a inoculação e sem exposição ao sol para não inviabilizar as bactérias.

2.3.1 Inoculação via sementes

Mesquita e Silva (2023) relataram que a inoculação com máquinas de tratamento tradicionalmente via semente exige equipamentos adequados para seu uso. Equipamentos como tambor giratório ou betoneira são operados para distribuir

uniformemente o inoculante nas sementes, evitando a mistura com os produtos químicos presentes no tratamento de sementes, fato este que ainda consegue diminuir a eficiência da inoculação via semente, pois mesmo feita em processo separado do tratamento ainda tem contato direto com fungicidas, inseticidas e micronutrientes causando toxidez (Hungria e Nogueira, 2022).

Do ponto de vista operacional, a inoculação em semente exige atenção à compatibilidade com tratamentos e ao tempo decorrido entre a inoculação e a semeadura, pois fungicidas ou aditivos presentes no tratamento de sementes podem reduzir a viabilidade das bactérias aplicadas; por isso, quando a utilização de fungicidas for necessária, a escolha de produtos compatíveis e procedimentos que minimizem o contato prejudicial ao inoculante são fundamentais (*Campo et al.*, 2010; *Vieira Neto et al.*, 2017).

A inoculação com estas máquinas deve ser feita em ambiente ventilado e sombreado longe de incidência direta do sol, regulada com a quantidade de sementes que serão plantadas no dia, evitando o uso inadequado ou guardar embalagens abertas e sementes para plantio em outro dia. A solução açucarada para inoculantes turfosos pode conter concentração de 100g para cada litro de água (10%), utilizada na proporção 300ml para 50kg de sementes e depois mistura-se da turfa, não se descartando a utilização de outros tipos de substância adesiva no lugar do açúcar. No inoculante líquido, utiliza-se água mais a proporção indicada do inoculante na embalagem não ultrapassando 300ml de calda para cada 50kg de semente (Câmara, 2014; Embrapa, 2009; *Hungria et al.*, 2007)

A inoculação via semente consiste na aplicação do inoculante diretamente sobre as sementes antes da semeadura, geralmente na forma líquida ou em pó, buscando estabelecimento precoce do rizóbio junto à semente para favorecer a colonização radicular na emergência. Essa técnica favorece o contato íntimo entre a célula bacteriana e a semente, o que pode resultar em nodulação mais rápida nas fases iniciais da cultura quando não há incompatibilidades com tratamentos de sementes (*Vieira Neto et al.*, 2017; *Campo et al.*, 2010).

Além disso, a aplicação na semente facilita a logística do manejo (pode ser feita na lotação da semente ou em usinas/beneficiadoras) e tende a apresentar custo operacional reduzido por unidade de área, desde que as condições de armazenamento e transporte mantenham a viabilidade do inoculante até o momento do plantio (*Vieira Neto et al.*, 2017; *Campo et al.*, 2010).

2.3.2 Inoculação via sulco de semeadura

A aplicação de inoculantes que vem tomando espaço em contrapartida do método via semente é a inoculação via sulco de plantio, que segundo Zibiani (2023) é uma alternativa para driblar potenciais problemas que possam vir a acontecer à eficiência das bactérias aplicadas de outra forma. Foram observados incrementos na produção de grãos de soja através da pulverização do inoculante no sulco de plantio simultaneamente à operação de plantio, fato que favorece a sobrevivência do rizóbio no solo que se beneficia com os substratos orgânicos disponíveis, sendo também uma alternativa de manejo para altas doses, evitando reações adversas com os produtos químicos do tratamento de sementes (Zhang e Smith, 1997; Jensen, 1987).

Câmara (2014) se refere à inoculação via sulco como operação prática que utiliza equipamento específico montado ao chassi da semeadora, com tanque térmico para o inoculante líquido aplicados através de pontas para jato sólido contínuo, alocados entre o disco duplo sulcador de semente, que visa a redução da morte das bactérias inoculadas pelo tratamento fitossanitário de sementes.

A inoculação via sulco (in-furrow) consiste na aplicação do inoculante diretamente no sulco de semeadura no momento da deposição da semente, permitindo que o produto seja colocado no ambiente rizosférico próximo à semente sem necessariamente ficar associado ao tegumento seminal. Essa via tem sido adotada como alternativa quando há risco de incompatibilidade entre o inoculante e tratamentos de sementes ou quando se deseja aumentar a quantidade de inóculo depositada por unidade de área (Zilli *et al.*, 2010; Campo *et al.*, 2010).

Desvantagens como transporte de água para reabastecimento desse método, doses mais elevadas de inoculante sendo até seis vezes maiores que no método via semente e temperaturas excessivas no solo, déficit hídrico, acidez do solo ou solo arenoso são considerados fatores adversos para o uso da inoculação via sulco (Hungria *et al.*, 2007; Brandão Junior & Hungria, 2000).

Na prática, a aplicação em sulco exige integração com o sistema hidráulico/linha da semeadora e ajuste do volume e viscosidade da calda para garantir deposição uniforme sem prejudicar o mecanismo dosador; quando bem ajustada, tende a preservar maior viabilidade bacteriana frente a tratamentos de semente e

pode melhorar o estabelecimento da população ativa de rizóbios na rizosfera (*Zilli et al.*, 2010; *Vieira Neto et al.*, 2017).

Em razão das restritas informações sobre a influência da inoculação via sulco nas características operacionais e econômicas da soja, *Correia et al.* (2018) viabilizaram um estudo onde a essa forma de inoculação proporcionou maior produtividade e rentabilidade, com crescimento à medida em que se aumenta a dose do inoculante, pouco influenciando nos custos. A maior dose e taxa de aplicação de bactérias inoculadas eleva a quantidade de número de vagens e nódulos por planta, mesmo em áreas sem histórico de inoculação no solo.

Embora a via sulco apresente vantagens em contextos específicos (solo de primeiro cultivo, uso de fungicidas em sementes, necessidade de dose maior de inóculo), sua implantação demanda cuidados operacionais adicionais — calibração da dosagem, verificação da compatibilidade com o equipamento e controle do volume aplicado — para evitar interferências na deposição da semente e garantir eficiência agrônômica (*Campo et al.*, 2010; *Zilli et al.*, 2010).

2.4 Velocidade de semeadura

Na operação de plantio, fatores como a correta deposição e uniformidade de estande possuem grande influência no rendimento final da cultura (*Reynaldo et al.*, 2016). A velocidade de semeadura é fator que está diretamente relacionado à qualidade e rendimento operacional de semeadura. Plantas corretamente espaçadas e bem distribuídas no estande contribuem para as altas produtividades da cultura e o aumento da velocidade pode alterar significativamente no número de sementes por metro linear e população final de plantas, distribuição longitudinal, além da profundidade de semeadura e emergência das plântulas (Silva e Gamero, 2010; Kurachi 1989).

A velocidade de deslocamento da semeadora é um dos fatores que mais influenciam a qualidade da semeadura, pois afeta diretamente a uniformidade de deposição das sementes, a profundidade de semeadura e, conseqüentemente, o estande final da cultura. Velocidades mais elevadas tendem a comprometer a precisão do mecanismo dosador, gerando maior número de espaçamentos falhos e duplos, o que prejudica o desenvolvimento uniforme da lavoura (*Mühl et al.*, 2022; *Matos et al.*, 2023).

A uniformidade de emergência é outro aspecto sensível à variação da velocidade. Estudos indicam que o aumento da velocidade de semeadura reduz a regularidade do espaçamento entre plantas, elevando o coeficiente de variação dos estandes e comprometendo a produtividade em condições de campo (*Siega et al.*, 2024; *Xu et al.*, 2021). Essa desuniformidade resulta em competição desigual entre plantas, afetando a interceptação de luz, a absorção de nutrientes e o fechamento da entrelinha.

Além do efeito sobre a uniformidade, a velocidade de operação também exerce influência na profundidade de deposição das sementes. Trabalhos mostram que maiores velocidades podem dificultar a manutenção de uma profundidade adequada, reduzindo a taxa de emergência e atrasando o desenvolvimento inicial das plantas (*Mühl et al.*, 2022; *Siega et al.*, 2024). Assim, o manejo correto da velocidade de semeadura é essencial para garantir o estabelecimento adequado da cultura e minimizar perdas no potencial produtivo.

Mantovani et al. (1999) concluíram em seus estudos sobre diferentes velocidades nos mecanismos dosadores de sementes que geram número elevado de falhas, sendo que em baixas velocidades há um aumento na precisão de capturas de sementes pelo dosador. A desuniforme semeadura pode prejudicar o aproveitamento de área acarretando falhas, com desenvolvimento de plantas daninhas; maior quantidade de sementes alocadas na distribuição do metro linear, provocando competição por água, luz e nutrientes (*Silva et al.*, 1999).

De forma geral, recomenda-se a utilização de velocidades moderadas de operação, compatíveis com a capacidade do equipamento, de modo a equilibrar eficiência operacional e qualidade da semeadura. A literatura demonstra que a manutenção da uniformidade de deposição das sementes, obtida em velocidades controladas, está diretamente associada à obtenção de maiores rendimentos na soja e em outras culturas graníferas (*Xu et al.*, 2021; *Matos et al.*, 2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Campo experimental

A pesquisa foi realizada na safra de 2022/23, e instalada em área experimental utilizada pelo Grupo de Plantio Direto (GPD), da Fazenda Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/Unesp), situada em Botucatu, no estado de São Paulo.

Na área de semeadura do experimento é realizado o sistema de Plantio Direto, com plantio de soja seguido de milho segunda safra de verão, além de culturas de inverno como aveia, gergelim, brachiária e milheto para obtenção de palhada.

A área estava mantida sob plantio direto com cobertura de brachiária e na área realizada manejo padrão da fazenda.

3.2 Delineamento experimental e instalação do experimento

O delineamento experimental utilizado foi em faixas e em esquema fatorial 3x3, e os tratamentos constituindo de três tipos de inoculação, via semente, via sulco de semeadura e tratamentos com ausência de inoculação, semeados sob três velocidades de operação, 5, 7 e 9 km h⁻¹, totalizando 9 tratamentos, sendo eles:

- T1: Sem inoculante e 5 km h⁻¹
- T2: Sem inoculante e 7 km h⁻¹
- T3: Sem inoculante e 9 km h⁻¹
- T4: Inoculação via sulco e 5 km h⁻¹
- T5: Inoculação via sulco e 7 km h⁻¹
- T6: Inoculação via sulco e 9 km h⁻¹
- T7: Inoculação via semente e 5 km h⁻¹
- T8: Inoculação via semente e 7 km h⁻¹
- T9: Inoculação via semente e 9 km h⁻¹

O plantio foi realizado no dia 17/10/2022, onde os tratamentos foram compostos de parcelas com 14 m x 60 m, sendo divididos em 4 repetições de 3,5 m x 20 m, totalizando 70 m² de área útil em cada parcela.

3.3 Insumos utilizados

3.3.1 Cultivar

A variedade de soja utilizada no experimento foi a NEO610 IPRO, com grupo de maturação 6.1, hábito de crescimento indeterminado, porte médio, cor da flor roxa, alta exigência em fertilidade e alta ramificação. O espaçamento de plantio utilizado foi 0,50m, com profundidade de semeadura de 0,03 m e taxa de deposição de 15 sementes por metro, com população aproximada de 300.000 plantas por hectare.

O tratamento de sementes foi realizado com Standak Top em betoneira, com efeito inseticida e fungicida. Posteriormente realizadas aplicações com fungicidas, inseticidas e herbicidas no manejo da cultura além de adubação foliar com Tônus e Stingray.

3.3.2 Inoculante

O inoculante utilizado para os tratamentos contendo inoculante líquido foi o TotalNitro Metabolic, composto por Bradyrhizobium japonicum, com dosagem descrita em bula de 75ml para cada 50kg de semente para aplicações em tratamento via sementes e 8 doses de 75ml por hectare para sulco de plantio. Possui garantia SEMIA 5079 e 5080 7×10^{12} UFC/L.

3.4 Máquinas e implementos utilizados

Para semeadura foi utilizado um trator da marca John Deere, modelo 6600, motor de 6 cilindros, potência no motor de 89 kw (121cv) a 2100 rpm, peso total 49300N, com tração dianteira auxiliar (TDA).

A semeadora-adubadora utilizada foi da marca Semeato, PD 17, Pantográfica, 7 linhas espaçadas a 0,50m, equipada com dosadores de discos horizontais (sistema mecânico tradicional, modificado Titanium, fabricado pela empresa J.Assy).

O pulverizador de sulco utilizado foi da marca Orion, com tanque de inoculante de 280L de capacidade, acoplado ao chassi da semeadora, com comando eletro mecânico possuindo válvula de corte de seção, válvula reguladora de fluxo de aplicação, manômetro, válvula de alavanca de retorno do agitador e válvula de alívio de pressão máxima, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Pulverizador de sulco, mangueira e ponta de pulverização.



Figura 2 - Componentes do pulverizador de sulco Orion.



Na Figura 2 estão os componentes presentes no inoculador de sulco, descritos em comando eletro mecânico de 1 seção, contendo válvula de corte de seção, válvula reguladora do fluxo de aplicação, válvula de alavanca de retorno do agitador, manômetro e válvula de alívio de pressão máxima (2^a); conjunto da bomba (2B); motor hidráulico e válvula reguladora de fluxo (2C); abastecimento remoto para reabastecimento ou esgotamento (2D); conjunto de bico (2E); tanque acoplado ao chassi da máquina (2F); suporte posicionador do conjunto do bico (2G); bico de injeção (2H); sensor indutivo (2I); anti-gotejo (2J); console digital (2K); válvula seletora de 3 vias, injetar, lavar ou fechar (2L); modelo de tanque (2M).

3.5 Regulagem e calibração da inoculação via sulco e via semente

A taxa de aplicação do tratamento de inoculação via sulco foi regulada com água antes do início do plantio. A determinação da vazão das pontas foi realizada de acordo com a metodologia utilizada em pulverizadores terrestres, por meio da Equação 1.

$$Q = \frac{E \times V \times T}{60.000} \quad (1)$$

Em que:

Q = vazão (L/min)

E = espaçamento entre bicos (cm)

V = velocidade de plantio (km/h)

T = taxa de aplicação (L/ha)

As vazões variaram em cada tratamento de acordo com a alteração da velocidade de 5km/h, 7km/h e 9km/h, demonstrados no Quadro 1. Foram utilizadas a mesma taxa de aplicação (50L ha⁻¹) e espaçamento nos tratamentos (50 cm). As vazões foram medidas em cada ponta de pulverização presente nas linhas da semeadora com proveta graduada de 500 ml, fazendo o ajuste necessário de pressão no manômetro.

A quantidade de inoculante utilizada para ambos os tratamentos foi de acordo com a bula com 75ml para 50kg de semente e 8 doses por hectare para inoculação via sulco, ao passo que a inoculação via semente foi realizada, após tratamento de semente e homogeneizada em betoneira.

Quadro 1 - Vazão dos bicos do pulverizador de sulco utilizadas no tratamento via sulco.

Velocidade (km h ⁻¹)	Vazão (L min ⁻¹)
5	0,208
7	0,291
9	0,375

3.6 Altura de plantas, diâmetro de hastes e número de vagens

As avaliações foram feitas nas três linhas centrais de cada repetição com 10m de comprimento, coletando todas as plantas totalizando 15m² de área, antes do início da colheita dos experimentos.

Para obtenção da altura de planta, foram medidas com trena milimetrada, com a medição iniciando na marcação de saída do solo até o topo da planta. Para obtenção dos diâmetros de haste, as plantas foram medidas com um paquímetro de precisão em milímetros, com leitura feita entre a marcação de saída do solo e início do primeiro ramo. O número de vagens por planta foi determinado por contagem manual.

3.7 Número de nódulos

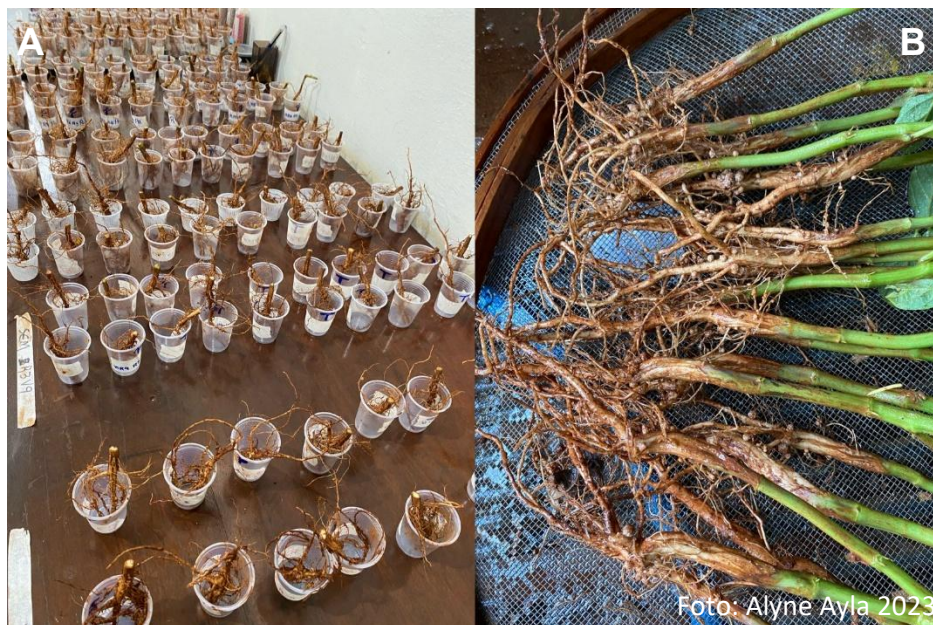
Para se obter o número de nódulos, foi utilizada metodologia de acordo com *Correia et al.* (2018), realizada com as plantas em estágio de pleno florescimento da cultura (R2), onde se tem um pico na nodulação e demanda por nitrogênio das plantas em resposta à atividade fotossintética no florescimento. Foram coletadas dez plantas de soja em um metro de comprimento de cada linha, em quatro linhas centrais por parcela.

As plantas foram coletadas com auxílio de uma pá-de-corte, mantendo as raízes para obtenção dos nódulos. Posteriormente, os nódulos foram lavados e separados das raízes com uma peneira de malha 3 mm e água corrente e secados ao ar. Por fim, foi realizada contagem manual do número de nódulos por planta (Figura 3a, 3b e 4a, 4b).

Figura 3 - Coleta de plantas para contagem de número de nódulos.



Figura 4 - Lavagem da raiz em peneira e contagem do número de nódulos.



3.8 Distribuição longitudinal de sementes

Foram coletados os espaçamentos entre plantas com a utilização de trena milimetrada, em 10 metros das duas linhas centrais de cada parcela (Figura 5). Os

espaçamentos foram classificados de acordo com metodologia proposta por Kurachi (1994), em que:

Espaçamento aceitável = entre 0,5 e 1,5 vezes o espaçamento de referência

Espaçamento duplo = inferior a 0,5 vezes o espaçamento de referência

Espaçamento falho = maior que 1,5 vezes o espaçamento de referência

Figura 5 - Distribuição longitudinal das sementes.



3.9 Coeficiente de variação dos espaçamentos entre plantas (CVe)

Foram coletados espaçamentos em 10 metros das duas linhas centrais de cada parcela, para cálculo do coeficiente de variação, de acordo com metodologia adaptada por Kurachi et al. (1989), com objetivo de determinar a precisão da distribuição longitudinal. Os valores foram submetidos a equação 2.

$$CVe = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

CVe = coeficiente de variação (%);

s = desvio padrão da média dos espaçamentos entre sementes (cm);

$\bar{x}$ = média dos espaçamentos entre sementes (cm).

3.10 População final de plantas (PF)

Foi realizada contagem manual da quantidade de plântulas estabelecidas assim que a emergência foi estabilizada e antes da colheita para mensuração da população final de plantas. Os dados foram extrapolados para plantas por hectare (pl ha^{-1}).

3.11 Produtividade de grãos e MMG

Para a produtividade de grãos de cada parcela foi realizada colheita manual em dez metros, com plantas no estágio de plena maturação, três linhas centrais de cada parcela, em seguida trilhadas e debulhadas mecanicamente, para obtenção da massa dos grãos, em balança de precisão 0,001 g.

Para obtenção da massa de mil grãos, realizou-se a seleção e eliminação dos grãos danificados, em seguida, com o auxílio do amostrador, foi efetuada uma amostra de cem grãos de cada repetição, pesadas em balança de precisão e posteriormente convertida para mil grãos.

As duas variáveis foram submetidas a determinação do teor de água e tiveram os valores de massa corrigidos para 13%.

3.12 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando o software Agroestat (Barbosa e Maldonado, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, são apresentados os resultados obtidos na análise estatística da interação entre os tratamentos para as variáveis Espaçamentos aceitáveis, Espaçamentos duplos e Espaçamentos falhos.

Tabela 1 - Interação entre o tipo de inoculação e velocidade de semeadura para índice de Espaçamentos Aceitáveis (EA), Espaçamentos Falhos (EF) e Espaçamentos Duplos (ED)

Velocidade (km ha ⁻¹)	Tipo de inoculação		
	Sem inoculante	Sulco	Semente
Espaçamentos aceitáveis (%)			
5	78,98 Aa	71,36 aA	75,60 aA
7	73,63 aA	66,83 aA	73,05 aA
9	73,95 aA	72,23 aA	65,63 aA
Espaçamentos falhos (%)			
5	8,76 aA	13,48 aA	17 aA
7	13,83 aA	22,83 aA	14,53 aA
9	15,53 aA	16,93 aA	20,30 aA
Espaçamentos duplos (%)			
5	12,25 aA	16,1 aA	7,38 aA
7	12,53 aA	10,35 aA	12,45 aA
9	10,53 aA	10,85 aA	14,08 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a um nível de probabilidade de 5%.

A análise dos índices de distribuição de sementes não apresentou interação significativa entre os fatores velocidade de semeadura e tipo de inoculação para as variáveis espaçamentos aceitáveis (EA), espaçamentos falhos (EF) e espaçamentos duplos (ED), conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para o índice de espaçamentos aceitáveis, os maiores valores foram observados na velocidade de 5 km/h em todos os tratamentos, com destaque para o tratamento sem inoculante (78,98%), seguido pela inoculação via semente (75,60%) e via sulco (71,36%).

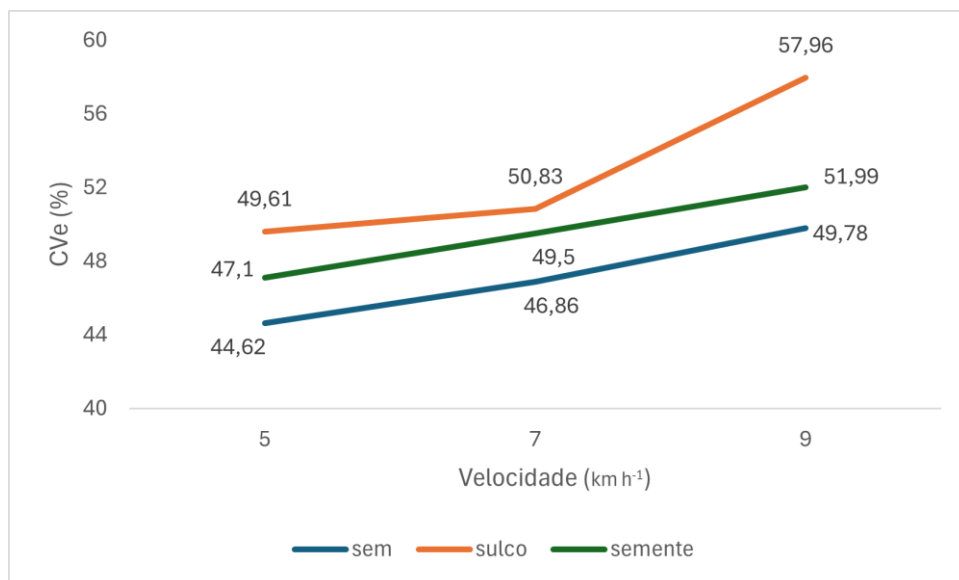
Embora não tenham apresentado diferenças estatísticas, observa-se uma tendência de redução no índice de espaçamentos aceitáveis com o aumento da velocidade de semeadura, principalmente na inoculação via semente (65,63% a 9 km/h). Resultados semelhantes foram mencionados por *Alonço et al.* (2011), que destacaram que maiores velocidades de semeadura podem comprometer a uniformidade da distribuição das sementes, principalmente em solos sob sistema de plantio direto.

Em relação aos espaçamentos falhos, a menor ocorrência foi observada no tratamento sem inoculante a 5 km/h (8,76%), enquanto os maiores índices foram registrados com inoculação via sulco na velocidade de 7 km/h (22,83%). De forma geral, observou-se que a inoculação via sulco resultou em elevado percentual de falhas na deposição das sementes, comportamento que pode estar associado à aplicação do inoculante líquido diretamente no sulco, que ao adicionar volume de calda ao sistema pode interferir na deposição uniforme das sementes, principalmente quando o sistema de semeadura não está devidamente ajustado. Conforme destacado por *Hungria et al.* (2005), o uso de inoculantes líquidos aplicados no sulco pode alterar a eficiência da semeadura, aumentar o risco de perda de bactérias viáveis e comprometer a estabilidade da semente no solo, especialmente em condições de plantio direto.

Já os espaçamentos duplos apresentaram comportamento menos variável entre os tratamentos, com destaque para o tratamento com inoculação via sulco a 5 km/h, que atingiu 16,1%. Conforme destacado por *Noronha et al.* (2020), falhas e duplas na semeadura podem comprometer o estande final e, consequentemente, a produtividade da cultura, com os espaçamentos falhos resultando em redução no número de plantas da cultura principal e facilitando o acúmulo de plantas invasoras e os espaçamentos duplos em competição por recursos como água, luz e nutrientes.

Na figura 6, são apresentadas as porcentagens de Coeficiente de variação dos espaçamentos entre plantas.

Figura 6 - Coeficiente de variação entre plantas (CVe).



Observou-se que a variação do espaçamento entre sementes (CVe) aumentou conforme a velocidade de semeadura e foi mais acentuada nos tratamentos com inoculação via sulco, indicando menor uniformidade na distribuição. A literatura confirma que uma distribuição não uniforme das sementes reduz a eficiência no uso de água, luz e nutrientes, comprometendo o crescimento e o rendimento final da cultura. Segundo *Horn et al.* (2022), aumentos no coeficiente de variação espacial entre plantas podem afetar negativamente a produtividade da soja, principalmente em condições de recursos limitados.

Além disso, *Sangoi et al.* (2021) demonstraram que o espaçamento uniforme contribui para melhor interceptação de luz e maior eficiência fotossintética, enquanto variações acentuadas favorecem competição desigual entre plantas. Sendo assim, a aplicação de inoculantes líquidos no sulco contribuiu para o aumento da variabilidade na distribuição das sementes, o que pode interferir tanto no estabelecimento do estande quanto a produtividade da cultura.

Analisando a interação entre os fatores tipo de inoculação e velocidade de semeadura, é possível observar nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 os resultados obtidos para as diferentes variáveis de características agronômicas da soja. Na tabela 2, são apresentados os resultados obtidos na análise estatística para a variável altura de plantas.

Tabela 2 - Altura de plantas (cm)

Velocidade (km h ⁻¹)	Altura de plantas (cm)			F ²
	Sem inoculante	Sulco	Semente	
5	75,37 aA	74,62 aA	67,62 aA	3,76*
7	77,12 aA	66,87 aB	62,62 aB	11,43**
9	80,62 aA	72,25 aB	66,25 aB	10,73**
F ¹	1,24 ^{NS}	2,73 ^{NS}	1,15 ^{NS}	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não possuem diferença significativa pelo teste Tukey ao nível 5% de probabilidade. Para *: significativo ao nível de 5% de probabilidade e **: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. NS: não significativo. Para F1 : análise fatores na coluna e F² análise entre os fatores na linha.

Para a variável altura de plantas (Tabela 2), é possível observar diferença estatística nas plantas não inoculadas e inoculadas via sulco, na velocidade de 7 km h⁻¹, com a ausência do uso de inoculante contendo plantas 13% maiores e na velocidade de 9 km h⁻¹, 10 % maiores. O fator velocidade de semeadura exerceu efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade (F²), enquanto o tipo de inoculação isoladamente (F¹) não apresentou diferença estatística (p>0,05), conforme os resultados da análise de variância. A maior altura média foi registrada no tratamento sem inoculante a 9 km/h (80,62 cm), e, de forma geral, os três níveis de velocidade sob ausência de inoculação apresentaram as maiores alturas dentro de cada linha, ainda que não tenham diferido estatisticamente entre si. Esse comportamento pode estar relacionado à ausência de competição metabólica com os microrganismos inoculados, permitindo maior translocação de assimilados para o crescimento da parte aérea, especialmente em ambientes com bom teor de nitrogênio residual no solo (Hungria *et al.*, 2005).

Por outro lado, as menores alturas ocorreram nos tratamentos com inoculação via semente, embora não tenham diferido significativamente da inoculação via sulco nas velocidades de 7 e 9 km/h. Variações na altura das plantas podem estar associadas à influência do modo de inoculação sobre a eficiência da fixação simbiótica (Zilli *et al.*, 2021), além de fatores como o ambiente rizosférico e as condições do solo que afetam a colonização pelas bactérias (Santos *et al.*, 2019). É importante destacar que, em cultivares de soja, alturas em torno de 70 a 90 cm são geralmente consideradas adequadas para o bom desempenho produtivo, garantindo

interceptação eficiente de luz e reduzindo riscos de acamamento (*Yang et al.*, 2021). Assim, os valores encontrados no presente estudo se enquadram dentro da faixa ideal, o que indica que, apesar das diferenças estatísticas, os tratamentos não comprometeram o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Hungria et al. (2005) relataram em trabalho realizado sobre fixação biológica de nitrogênio que a inoculação no sulco pode afetar características morfológicas em determinados contextos, mas salientaram que a resposta depende da colonização efetiva pelos rizóbios, do histórico do solo e das condições de implantação. Portanto, a maior altura observada no tratamento sem inoculante no presente trabalho pode refletir fatores locais, como teor de N residual do solo, menor competição metabólica por assimilados e possíveis interferências físicas da aplicação em sulco na emergência e vigor inicial.

Santana Neto et al. (2024) avaliando em seu trabalho a influência causada pela velocidade de deslocamento na distribuição longitudinal da soja, destacaram que pontos de acúmulo de plantas na linha, com estande desuniforme, pode ocasionar maiores alturas, menores ramificações, suscetíveis ao acamamento e menor produção individual. Em contrapartida, falhas no estande podem favorecer plantas de porte reduzido, com caules robustos e maiores ramificações que agregam apenas a produção individual, além de plantas daninhas que podem levar a uma redução na produtividade final.

Na tabela 3, são apresentados os resultados obtidos na análise estatística para a variável diâmetro de haste.

Tabela 3 - Diâmetro de haste (mm)

Velocidade (km ha ⁻¹)	Diâmetro de haste (mm)			
	Sem inoculante	Sulco	Semente	F ²
5	4 aB	4,62 aB	7,75 aA	25,18**
7	4,12 aA	5,12 aA	3,75 bA	3,15 ^{NS}
9	4 aA	4,87 aA	4,12 bA	1,40 ^{NS}
F ¹	0,03 ^{NS}	0,36 ^{NS}	27,92**	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não possuem diferença significativa pelo teste Tukey ao nível 5% de probabilidade. Para *: significativo ao nível de 5% de probabilidade e **: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. NS: não significativo. Para F¹ : análise fatores na coluna e F² análise entre os fatores na linha.

De acordo com os resultados da Tabela 3, observou-se que o fator tipo de inoculação (F^1) exerceu efeito significativo ($p < 0,01$) sobre o diâmetro de haste, enquanto o fator velocidade de semeadura (F^2) apresentou diferença apenas na velocidade de 5 km h^{-1} . A maior média foi registrada no tratamento com inoculação via semente a 5 km h^{-1} (7,75 mm), diferindo estatisticamente dos demais, enquanto os menores valores foram obtidos na ausência de inoculação, com médias próximas a 4 mm. Esses resultados indicam que a inoculação pode contribuir positivamente para o engrossamento do caule, mas essa resposta pode variar de acordo com a forma de aplicação e as condições ambientais no momento do estabelecimento da cultura.

A inoculação via semente proporcionou maior diâmetro de haste em comparação às demais formas de manejo, especialmente na menor velocidade de semeadura, sugerindo que a deposição mais uniforme dos microrganismos junto às sementes pode favorecer a colonização inicial e, conseqüentemente, o desenvolvimento vegetativo da soja. Resultados semelhantes foram relatados por *Melo et al.* (2021), que verificaram incremento significativo no diâmetro do caule da soja com a inoculação via semente em relação ao tratamento sem inoculação, reforçando a importância dessa prática para o estabelecimento inicial da lavoura.

Por outro lado, a inoculação via sulco apresentou valores intermediários de diâmetro de haste, sem diferir estatisticamente dos demais tratamentos em algumas velocidades de semeadura. Esse comportamento está de acordo com os resultados encontrados por *Zilli et al.* (2010), os quais observaram que a aplicação do inoculante no sulco de semeadura promoveu desempenho semelhante ou ligeiramente inferior à inoculação direta nas sementes, dependendo das condições edafoclimáticas. Assim, embora o sulco seja uma alternativa operacionalmente viável, a sua eficiência pode ser menor em comparação à inoculação na semente, especialmente em ambientes com alto teor de nitrogênio residual no solo.

O diâmetro de haste é um parâmetro importante, pois está diretamente associado à sustentação da planta e à redução de acamamento, além de estar correlacionado ao acúmulo de biomassa e ao desempenho produtivo da soja (*Heiffig et al.*, 2006). Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo sugerem que a inoculação via semente, sobretudo em velocidades mais baixas de semeadura, pode

favorecer um crescimento vegetativo mais robusto, refletindo em maior diâmetro de haste e potencial de melhor aproveitamento dos recursos para a produção de grãos.

Na tabela 4, são apresentados os resultados obtidos na análise estatística para a variável inserção da primeira vagem.

Tabela 4 - Inserção da primeira vagem (cm)

Velocidade (km ha ⁻¹)	Inserção da primeira vagem (cm)			
	Sem inoculante	Sulco	Semente	F ²
5	16,25 aA	15,5 aA	12 bB	12,94**
7	16,25 aA	13,12 bB	13,25 abB	7,87**
9	16,5 aA	12,75 bB	14 aB	9,17**
F ¹	0,07 ^{NS}	7,80**	3,58 ^{NS}	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não possuem diferença significativa pelo teste Tukey ao nível 5% de probabilidade. Para *: significativo ao nível de 5% de probabilidade e **: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. NS: não significativo. Para F¹ : análise fatores na coluna e F² análise entre os fatores na linha.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, o fator velocidade de semeadura (F²) exerceu efeito significativo ($p < 0,01$) sobre a inserção da primeira vagem, enquanto o fator tipo de inoculação (F¹) não apresentou diferença significativa isoladamente ($p > 0,05$). A maior média foi observada no tratamento sem inoculação (16,5 cm), independentemente da velocidade, enquanto os menores valores ocorreram na inoculação via sulco, com destaque para a velocidade de 9 km h⁻¹ (12,75 cm). Já a inoculação via semente apresentou valores intermediários, variando de 12 a 14 cm. Esses resultados indicam que tanto a forma de inoculação quanto a velocidade de semeadura podem influenciar a inserção da primeira vagem, característica importante para a colheita mecanizada.

Observa-se que, em geral, a inoculação via semente resultou em menores inserções da primeira vagem, diferindo estatisticamente da ausência de inoculação na velocidade de 5 km h⁻¹. A redução da altura de inserção pode estar associada a uma maior competição por fotoassimilados entre crescimento vegetativo e formação precoce de estruturas reprodutivas, influenciada pela interação da planta com o inoculante (Santos *et al.*, 2019). Por outro lado, os maiores valores verificados no tratamento sem inoculação sugerem que a ausência de simbiose inicial com

Bradyrhizobium pode favorecer maior crescimento vegetativo antes da transição reprodutiva, elevando o ponto de inserção da primeira vagem (*Hungria et al.*, 2005).

Trabalhos anteriores relatam variação expressiva na inserção da primeira vagem em função do manejo e das condições ambientais. *Ferreira et al.* (2011) verificaram valores médios de 13,5 a 15,2 cm em cultivares de soja sob diferentes arranjos de plantas, enquanto *Zilli et al.* (2010) observaram que a inoculação via sulco resultou em menores alturas de inserção da vagem em relação à inoculação via semente em áreas de primeiro cultivo no Cerrado. Esses resultados corroboram, em parte, os encontrados neste estudo, nos quais a inoculação via sulco apresentou valores mais baixos quando comparada à ausência de inoculação.

A altura de inserção da primeira vagem é um parâmetro de relevância prática, pois influencia diretamente a eficiência da colheita mecanizada e as perdas por arraste de vagens (*Heiffig et al.*, 2006). Valores muito baixos aumentam a probabilidade de perdas durante a colheita, enquanto inserções mais elevadas podem estar associadas a maior crescimento vegetativo, nem sempre refletindo em ganhos produtivos. Dessa forma, a faixa observada neste estudo (12 a 16,5 cm) encontra-se dentro do intervalo considerado adequado para a mecanização da cultura, conforme destacado por Embrapa (2013).

As plantas que possuem alturas mais altas de inserção da primeira vagem, favorecidas pela disponibilidade de nitrogênio para crescimento vegetativo e reprodutivo, favorecem uma colheita com menores perdas e maiores produtividades, podendo impactar diretamente na eficiência e rendimento do maquinário utilizado. *Franco et al.* (2021) ao avaliarem o desempenho de semeadura em função da velocidade e do disco dosador, encontraram resultados contrários, constatando que as variáveis altura de plantas, altura de inserção e número de vagens não foram influenciados pela velocidade de plantio.

Na tabela 5, são apresentados os resultados obtidos na análise estatística para a variável vagens por planta.

Tabela 5 - Vagens por planta

Velocidade (km ha ⁻¹)	Vagens por planta			
	Sem inoculante	Sulco	Semente	F ²
5	51 aA	52 bA	60 aA	1,94 ^{NS}
7	56 aA	65 abA	53 aA	2,86 ^{NS}
9	49 aB	80 aA	53 aB	20,93 ^{**}
F ¹	0,59 ^{NS}	10,04 ^{**}	0,92 ^{NS}	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não possuem diferença significativa pelo teste Tukey ao nível 5% de probabilidade. Para *: significativo ao nível de 5% de probabilidade e **: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. NS: não significativo. Para F¹ : análise fatores na coluna e F² análise entre os fatores na linha.

Na Tabela 5 observa-se que o número de vagens por planta foi influenciado significativamente apenas pelo fator inoculação (F¹), ao nível de 1% de probabilidade, enquanto o fator velocidade de semeadura (F²) apresentou efeito significativo apenas na interação com os tratamentos a 9 km h⁻¹. Os maiores valores médios foram registrados no tratamento com inoculação via sulco na velocidade de 9 km h⁻¹ (80 vagens por planta), diferindo estatisticamente dos demais. Já os menores valores foram obtidos nos tratamentos sem inoculação a 9 km h⁻¹ (49 vagens) e com inoculação via semente em todas as velocidades (53 a 60 vagens).

De modo geral, os resultados indicam que a inoculação via sulco proporcionou maior número de vagens por planta em comparação à ausência de inoculação e à inoculação via semente, principalmente na velocidade de 9 km h⁻¹. Esse comportamento pode estar associado à melhor disponibilidade de bactérias no ambiente rizosférico quando o inoculante é aplicado diretamente no sulco, favorecendo a colonização e a formação de nódulos mais ativos, o que se reflete em maior aporte de nitrogênio para a fase reprodutiva da cultura (Zilli *et al.*, 2010).

Os valores obtidos neste trabalho (49 a 80 vagens por planta) encontram-se dentro da faixa reportada na literatura. Hungria *et al.* (2007) verificaram variação entre 45 e 75 vagens por planta em ensaios de campo com diferentes manejos de inoculação. Da mesma forma, Ferreira *et al.* (2011) observaram médias entre 52 e 78 vagens por planta em diferentes arranjos espaciais de plantas de soja. Comparando-se os dados, nota-se que os valores máximos obtidos neste estudo (80 vagens por

planta) são semelhantes aos reportados, reforçando que a inoculação via sulco, quando bem manejada, pode maximizar o potencial reprodutivo da cultura.

O número de vagens por planta é um dos principais componentes do rendimento de grãos da soja e pode ser fortemente influenciado pela disponibilidade de nitrogênio e pela eficiência da fixação biológica (*Hungria et al.*, 2005). Valores mais elevados, como os obtidos no tratamento com inoculação via sulco, representam maior potencial produtivo, desde que acompanhados de adequado enchimento de grãos. Nesse contexto, a eficiência do método de inoculação torna-se um fator determinante para maximizar a expressão do rendimento da cultura.

Guimarães et al. (2023) encontraram em seu trabalho, avaliando tipos distintos de aplicação de inoculantes na soja, um aumento nos valores médios do número de vagens na haste principal e nas hastes laterais à medida em que se combina maior adição de bactérias inoculadas na cultura.

Na tabela 6, são apresentados os resultados obtidos na análise estatística para a variável número de nódulos.

Tabela 6 - Número de nódulos

Velocidade (km ha ⁻¹)	Número de nódulos			
	Sem inoculante	Sulco	Semente	F ²
5	10 aA	16 aA	11 abA	1,96 ^{NS}
7	8 aB	19 aA	19 aA	6,83 ^{**}
9	10 aA	13 aA	8 bA	0,98 ^{NS}
F ¹	0,32 ^{NS}	1,76 ^{NS}	6,21 [*]	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não possuem diferença significativa pelo teste Tukey ao nível 5% de probabilidade. Para *: significativo ao nível de 5% de probabilidade e **: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. NS: não significativo. Para F¹ : análise fatores na coluna e F² análise entre os fatores na linha.

Em relação ao número de nódulos, verificou-se que o fator velocidade de semeadura apresentou efeito significativo apenas na velocidade de 7 km h⁻¹, ao nível de 1% de probabilidade (F²), enquanto o tipo de inoculação apresentou efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade (F¹). A inoculação via sulco e via semente resultaram em maiores médias de nódulos quando comparadas à ausência de

inoculação, evidenciando a contribuição direta do fornecimento de inoculante para a nodulação das plantas de soja.

Os maiores valores foram obtidos nos tratamentos com inoculação via sulco, destacando-se a média de 19 nódulos por planta a 7 km h^{-1} , superior ao tratamento sem inoculação (8 nódulos) e também aos valores observados na inoculação via semente, que variaram de 8 a 19 nódulos dependendo da velocidade. Esse comportamento demonstra que a aplicação do inoculante diretamente no sulco favorece maior contato entre as bactérias e o sistema radicular, promovendo a formação de nódulos funcionais. Resultados semelhantes foram reportados por *Hungria et al.* (2014), que observaram aumento expressivo no número de nódulos em tratamentos com inoculação via sulco em comparação à via semente.

A quantidade de nódulos está diretamente relacionada à capacidade da planta em suprir sua elevada demanda de nitrogênio pela FBN. Segundo *Zilli et al.* (2021), um maior número de nódulos viáveis favorece o fornecimento contínuo de N durante o ciclo da cultura, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos e garantindo maior estabilidade produtiva. Dessa forma, a superioridade da inoculação via sulco nos resultados aqui obtidos demonstra seu potencial em incrementar a eficiência simbiótica.

Comparando com valores de outros trabalhos, nota-se que o presente estudo apresentou médias de até 19 nódulos por planta nos melhores tratamentos, patamar próximo aos reportados por *Campo et al.* (2009), que encontraram entre 18 e 22 nódulos em cultivares de soja sob condições favoráveis de inoculação. Ainda que inferiores a experimentos em áreas de primeiro cultivo, nos quais podem ser relatados mais de 25 nódulos por planta (*Hungria et al.*, 2001), os resultados obtidos neste estudo reforçam a importância do manejo adequado da inoculação para garantir a nodulação efetiva, mesmo em áreas de plantio direto já estabelecidas.

Como consequência, a velocidade de plantio pode afetar a nodulação nas plantas no estabelecimento das raízes, diretamente ligadas à produção de nódulos, com a diminuição do contato necessário semente-solo, germinação desigual dificultando a colonização das bactérias. Em concordância, *Neto et al.* (2022) concluíram que para as variáveis área e volume de raiz apresentaram resultados significativos para diferentes dosagens de inoculante, sendo mais responsivo o tamanho da raiz e quantidade de nódulos para maiores doses de inoculante, possibilitado pela inoculação via sulco.

Meert et al. (2020), trabalhando com diferentes inoculantes e formas de inoculação para obtenção de sua influência sobre as características da soja, encontraram maior quantidade de número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos e maior extração de nitrogênio na aplicação de *Bradyrhizobium* via sulco em comparação com via semente e sem inoculante.

Na tabela 7, são apresentados os resultados obtidos na análise estatística para a variável população final de plantas.

Tabela 7 - População final de plantas (PF)

Velocidade (km ha ⁻¹)	População Final (plantas ha ⁻¹)			
	Sem inoculante	Sulco	Semente	F ²
5	284000 aA	272000 aAB	245000 aB	4,08*
7	279000 abA	264500 aA	247500 aA	2,54 ^{NS}
9	241000 bA	249000 aA	265000 aA	1,51 ^{NS}
F ¹	4,40*	1,05 ^{NS}	0,95 ^{NS}	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não possuem diferença significativa pelo teste Tukey ao nível 5% de probabilidade. Para *: significativo ao nível de 5% de probabilidade e **: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. NS: não significativo. Para F1 : análise fatores na coluna e F² análise entre os fatores na linha.

A população final de plantas apresentou efeito significativo apenas para o fator velocidade, com redução dos valores quando a semeadura foi realizada a 9 km h⁻¹ na condição sem inoculação, atingindo 241.000 plantas ha⁻¹. Já as demais condições, tanto com inoculação via sulco quanto via semente, não mostraram diferenças significativas entre as velocidades (Tabela 7). Esse resultado sugere que a qualidade da deposição de sementes pode ser afetada em maiores velocidades, sobretudo na ausência da inoculação, influenciando a emergência inicial e o estabelecimento da cultura.

Embora a inoculação não tenha promovido diferenças estatísticas significativas na população final de plantas, observa-se que os valores obtidos se mantiveram dentro da faixa considerada adequada para a cultura da soja, que segundo *Rezende*

et al. (2016), varia entre 240.000 e 280.000 plantas ha^{-1} , dependendo do grupo de maturação e do ambiente de cultivo. Essa manutenção da população é fundamental para garantir adequado estande inicial, que influencia diretamente o fechamento do dossel e a interceptação de luz ao longo do ciclo.

Resultados semelhantes foram observados por *Procópio et al.* (2013), ao avaliarem diferentes formas de inoculação em soja, onde as populações finais de plantas oscilaram entre 250.000 e 270.000 plantas ha^{-1} , sem diferenças significativas entre os métodos de inoculação. Esses autores ressaltam que, embora a inoculação desempenhe papel crucial na fixação biológica de nitrogênio e no desenvolvimento da planta, ela não interfere de forma direta na emergência ou no estande final, que são mais dependentes das condições de semeadura e do vigor das sementes.

Dessa forma, os resultados do presente estudo confirmam que a população final de plantas foi pouco influenciada pela inoculação, mas sofreu redução significativa quando associada à maior velocidade de semeadura sem inoculação. Isso reforça a importância de adequar a velocidade operacional da semeadora para garantir uma distribuição uniforme e um estande adequado, assegurando que o potencial produtivo da soja não seja comprometido.

Na tabela 8, são apresentados os resultados obtidos na análise estatística para a variável massa de mil grãos.

Tabela 8 - Massa de Mil Grãos (MMG)

Velocidade (km ha^{-1})	MMG (g)			
	Sem inoculante	Sulco	Semente	F ²
5	167,5 aA	172,5 aA	177,5 aA	0,92 ^{NS}
7	167,5 aB	172,5 aB	197,5 aA	9,54 ^{**}
9	172,5 aA	185 aA	180 aA	1,46 ^{NS}
F ¹	0,13 ^{NS}	0,81 ^{NS}	1,85 ^{NS}	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não possuem diferença significativa pelo teste Tukey ao nível 5% de probabilidade. Para *: significativo ao nível de 5% de probabilidade e **: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. NS: não significativo. Para F¹ : análise fatores na coluna e F² análise entre os fatores na linha.

A massa de mil grãos (MMG) apresentou diferenças significativas apenas para o fator de inoculação, sendo observada superioridade para o tratamento via semente na velocidade de 7 km h^{-1} , atingindo 197,5 g, em comparação aos demais tratamentos (Tabela 8). Já o fator velocidade, de forma isolada, não influenciou significativamente a variável, indicando que a deposição das sementes no solo, mesmo em diferentes velocidades de operação, não comprometeu o enchimento de grãos. Esses resultados sugerem que a inoculação, especialmente via semente, pode contribuir para maior eficiência fisiológica da cultura em determinadas condições, refletindo em incremento da MMG.

A MMG é um dos principais componentes do rendimento da soja, refletindo a capacidade da planta em acumular fotoassimilados durante o enchimento de grãos (*Martins et al.*, 2015). Dessa forma, valores mais elevados indicam maior eficiência na conversão dos recursos disponíveis em massa de sementes, sendo diretamente influenciados pela fixação biológica de nitrogênio (FBN), que garante suprimento adequado desse nutriente ao longo do ciclo. No presente estudo, os valores médios de MMG oscilaram entre 167,5 g e 197,5 g, situando-se dentro da faixa considerada típica para cultivares modernas de soja.

Resultados semelhantes foram observados por *Hungria et al.* (2007), que relataram massas de mil grãos variando de 160 g a 200 g em cultivares submetidas à inoculação com *Bradyrhizobium*, ressaltando que a inoculação contribui para suprir as necessidades nitrogenadas da cultura, o que se reflete em maior peso de grãos. Da mesma forma, *Campo et al.* (2019) verificaram que a inoculação via sulco e via semente resultaram em valores de MMG entre 170 g e 190 g, próximos aos obtidos neste trabalho, confirmando a eficácia da prática na manutenção do potencial produtivo da soja.

Assim, os resultados deste estudo reforçam que a inoculação exerce efeito relevante sobre a massa de mil grãos, embora a velocidade de operação não tenha comprometido essa variável. A proximidade dos valores aqui obtidos com aqueles relatados na literatura evidencia que a inoculação, independentemente da forma de aplicação, garante condições adequadas para o enchimento de grãos, contribuindo de maneira importante para a produtividade final da cultura. Os menores pesos em gramas para massa de mil grãos nas plantas sem inoculação podem ter sido ocasionados pela falta de nitrogênio nas suas fases críticas de demanda deste nutriente, florescimento e enchimento de grãos, onde o nitrogênio é necessário para

a síntese de proteínas presentes nos grãos e é suprido nas inoculações via semente e sulco com aplicação das bactérias fixadoras de nitrogênio.

Toffolo et al. (2022) identificaram em seu trabalho que a aplicação de nitrogênio através do uso de inoculante líquido na semeadura em conjunto com adubação nitrogenada no estágio fenológico R3, apresentou maior peso de mil sementes, constatando o benefício deste nutriente para a planta em seus estádios reprodutivos.

Na tabela 9, são apresentados os resultados obtidos na análise estatística para a variável produtividade de grãos.

Tabela 9 - Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)

Velocidade (km ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)		
	Sem inoculante	Sulco	Semente
	Produtividade (kg ha ⁻¹)		
5	2962,50 aB	5424,50 aA	4421,67 aAB
7	4554,17 aA	4700,83 aA	5142,50 aA
9	3844,17 aA	4659,16 aA	4366,67 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a um nível de probabilidade de 5%.

Os resultados de produtividade de grãos, encontrados na Tabela 9, tiveram diferença significativa apenas para inoculação via sulco e sem inoculante na velocidade semeada de 5 km h⁻¹, com 5424,50 kg ha⁻¹ no sulco, comparando com sem inoculante e inoculação via semente na mesma velocidade, sendo sem inoculação 45% menor e inoculação via semente 18% menor que via sulco, porcentagens que correspondem respectivamente aos valores de 2962,50 e 4421,67 kg ha⁻¹. Os demais valores obtidos para produtividade de grãos entre a variação das velocidades 7 e 9 km h⁻¹ na inoculação via sulco, semente e sem inoculante não tiveram diferença significativa, entretanto é possível observar a diminuição das médias de produtividade em kg ha⁻¹ à medida em que se aumenta a velocidade na inoculação via sulco, sendo

aproximadamente 14% menor nas velocidades 7 e 9 km h⁻¹ que na velocidade 5 km h⁻¹, com 4700,83 e 4659,16 kg ha⁻¹.

Nos resultados observados, a produtividade de grãos não apresentou efeito significativo para a velocidade de semeadura, com maiores rendimentos nos tratamentos em que houve inoculação via sulco, especialmente em velocidades baixas (5 km h⁻¹). O tratamento sem inoculante apresentou produtividade visivelmente inferior, evidenciando que a inoculação é determinante para maximizar o rendimento ao promover fixação biológica de nitrogênio eficaz e melhorar condições das plantas durante o ciclo. Os resultados reforçam a eficiência do aporte de *Bradyrhizobium* diretamente no sulco, garantindo maior contato entre o inoculante e a rizosfera, favorecendo a nodulação e, conseqüentemente, a fixação biológica de nitrogênio (*Campo et al.*, 2019).

Resultados semelhantes foram descritos por *Correia et al.* (2018), que verificaram incremento na produtividade da soja com inoculação via sulco em comparação à sem inoculação. Da mesma forma, *Hungria et al.* (2017) reportaram aumentos de até 16% na produtividade em áreas onde a inoculação foi realizada diretamente no sulco de semeadura. Já *Martins et al.* (2015) observaram que a inoculação via semente também proporciona ganhos significativos, mas ressaltaram que a eficiência depende da qualidade da operação e da uniformidade de distribuição do inoculante. Tais comparações indicam que os valores obtidos neste estudo estão em consonância com a literatura, reforçando a viabilidade técnica da inoculação via sulco em condições de plantio direto.

Do ponto de vista agrônomo, os resultados sugerem que a inoculação via sulco é uma estratégia eficiente para maximizar a produtividade da soja, principalmente em áreas sob sistema de plantio direto, onde o contato direto do inoculante com a semente pode ser limitado por resíduos superficiais. Além disso, esse método reduz riscos de falhas associados à dessecação do inoculante sobre as sementes em condições de altas temperaturas, problema recorrente em sistemas tropicais (*Hungria et al.*, 2007). Nesse contexto, a escolha adequada do método de inoculação pode representar não apenas ganhos produtivos, mas também maior sustentabilidade do sistema agrícola, reduzindo a dependência de adubação nitrogenada.

Esses resultados vão de acordo com *Bortoli et al.* (2021), que também avaliaram produtividade de grãos da cultura da soja para diferentes velocidades de

plantio e obtiveram em seus resultados maior equidistância entre as plantas com o aumento da velocidade, tendo como principal influência nos componentes de produtividade a distribuição das plantas e afetando o rendimento final dos grãos. Seus resultados concluíram que velocidades próximas a 4 km h^{-1} proporcionaram melhor uniformidade e distribuição comparadas a velocidades de 2 a 9 km h^{-1} .

Pereira et al. (2022), avaliando diferentes formas de aplicação de inoculantes na soja, destacaram maior produtividade na inoculação via sulco, sendo uma das principais causas a ausência do contato direto das bactérias inoculadas com fungicidas e inseticidas presentes no tratamento de semente comum.

5 CONCLUSÕES

A inoculação via sulco de semeadura proporcionou maiores valores de produtividade da soja, destacando-se na velocidade de 5 km h⁻¹ com rendimento de 5.424,50 kg ha⁻¹. As diferentes formas de inoculação e velocidades não afetaram significativamente o espaçamento entre plantas.

Nos componentes de crescimento e rendimento, a inoculação via sulco resultou em maiores valores de altura de plantas, inserção da primeira vagem, diâmetro de haste, número de vagens por planta e massa de mil grãos em diferentes velocidades. Para a nodulação, embora não tenha apresentado efeito da velocidade, o tratamento sem inoculante a 7 km h⁻¹ apresentou menor desempenho, enquanto a aplicação via sulco obteve os maiores valores, mesmo sem diferir estatisticamente dos demais tratamentos.

Dessa forma, os resultados demonstram que a inoculação via sulco é uma alternativa promissora para otimizar o desempenho agrônomo da soja em sistema de plantio direto, contribuindo para maior estabilidade produtiva e sustentabilidade do cultivo. Recomenda-se a realização de novos estudos que considerem diferentes condições edafoclimáticas e tecnologias de semeadura, a fim de ampliar a compreensão sobre a interação entre métodos de inoculação e velocidades operacionais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Julia Pera et. al. Produção Nacional de Fertilizantes. Estudo Estratégico. Desenvolvimento Econômico. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos, 2020.
- ALONÇO, A. S.; LANÇA, F. D. R.; TAVARES, L. C. Desempenho de semeadoras-adubadoras de precisão em diferentes velocidades de deslocamento. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 3, p. 510–520, 2011.
- ALVARENGA, Ramon Costa et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Dados 2024 – Importação de Fertilizantes Intermediários.
- BARBOSA, J.C.; MALDONADO JUNIOR, W. AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Versão 1.1. Jaboticabal: Departamento de Ciências Exatas, 2010.
- BOHRER, Temis Regina Jacques; HUNGRIA, Mariangela. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 6, p. 937-952, 1998.
- Bortoli, L. F., Arismendi, G. D. A., Ferreira, M. M., & Martin, T. N. (2021). Sowing speed can affect distribution and yield of soybean. *Australian Journal of Crop Science*, **15**(1), 16–22.
- BRANDÃO JUNIOR, O.; HUNGRIA, M. Efeito de concentrações de solução açucarada na aderência do inoculante às sementes de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 515-526, 2000.
- CÂMARA, G. M. S. Fixação biológica de nitrogênio em soja. **Informações agrônômicas**, n. 147, p. 1-9, 2014.
- CÂMARA, G. M. S. Nitrogênio e produtividade da soja. In: CÂMARA, G. M. S. (Eds.). *Soja: Tecnologia da Produção II*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. p. 295-339.
- CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M.; MORAIS, J. Z. Fixação biológica do nitrogênio em soja: comparativo entre métodos de inoculação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 6, p. 655–662, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000600011.
- CAMPO, R. J.; SILVA ARAUJO, R.; MOSTASSO, F. L.; HUNGRIA, M. In-furrow inoculation of soybean as alternative to fungicide and micronutrient seed treatment. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1103–1112, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000400010.

CAMPO, R. J.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Métodos de inoculação da soja e seus efeitos sobre a fixação biológica de nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, p. e0180051, 2019.

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M.; GOMES, E. C. Nodulação e fixação biológica de nitrogênio em soja. *Elevagro*, 2009. Disponível em: <https://elevagro.com/blog/nodulacao-em-soja-e-a-fixacao-biologica-de-n>. Acesso em: 25 maio 2025.

CORREIA, T. P. da S.; SILVA ARBEX, P. R.; CÂMARA, G. M. S.; TAVARES, L. A. F.; FAGGION, F. Produtividade, desempenho operacional e econômico da semeadura de soja com inoculação via sulco. *Energia na Agricultura*, v. 33, n. 2, p. 110–117, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). *Último levantamento da safra 2023/2024 estima produção de grãos em 298,41 milhões de toneladas*. Brasília: Conab, abr. 2024.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). *Panorama do agro: VBP 2024*. 2024.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). *CNA divulga estimativa do Valor Bruto da Produção Agropecuária para 2025*. 2024.

DA SILVA, Marísia Cristina; GAMERO, Carlos Antonio. QUALIDADE DA OPERAÇÃO DE SEMEADURA DE UMA SEMEADORA-ADUBADORA DE PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DO TIPO DE MARTELETE E VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO. *Energia na Agricultura*, v. 25, n. 1, p. 85-102, 2010.

DE AZEVEDO MARQUÊS, Vicente Penteado Meirelles. Questões sobre soja e imperialismo na Revista Brasiliense. *Mundo Agrario*, v. 24, n. 56, p. 1-16, 2023.

DE SANTANA NETO, Thiago Martins et al. Avaliação da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado trator-semeadora na distribuição longitudinal da cultura da soja. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, v. 17, n. 3, p. e5297-e5297, 2024.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil - 2009/2010. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009.262p.

EMBRAPA AGROBIOLOGIA. Fixação biológica de nitrogênio pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa na agricultura. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/8313328/fixacao-biologica-de-nitrogenio-pode-reduzir-as-emissoes-de-gee-na-agricultura>. Acesso em: 25 maio 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Soja no Brasil: histórico e avanços tecnológicos.* Londrina: Embrapa Soja, 2011.

EMBRAPA. *A Embrapa Soja e o desenvolvimento da cultura no Brasil.* Londrina: Embrapa Soja, 2015.

EMBRAPA. *Trajetória da agricultura brasileira: inovação e sustentabilidade.* Brasília: Embrapa, 2023.

EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

FERREIRA, A. S. et al. Características agronômicas de cultivares de soja em diferentes arranjos espaciais. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 4, p. 907-915, 2011.

FERREIRA, Daniel Soares et al. MELHORAMENTO GENÉTICO NO CONTEXTO DA PRODUÇÃO AGROECOLÓGICA. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 55, p. 447-462, 2023.

FRIZZO, Bernardo. Nodulação da soja sob diferentes tratamentos químicos de sementes. 2018.

FRANCO, Felipe José Barbosa et al. Qualidade da semeadura de soja em função da velocidade do trator-semeadora e disco dosador de sementes. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e35210212723-e35210212723, 2021.

FURLANI, C. E. A., JÚNIOR, A. P., CORTEZ, J. W., DA SILVA, R. P., & GROTTA, D. C. C. Influência do manejo da cobertura vegetal e da velocidade de semeadura no estabelecimento da soja. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 18, n. 3, p. 227-233, 2010.

GOMES, M. R. EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS DE DESEMPENHO ECONÔMICO E PRODUÇÃO DA SOJA NOS CONTEXTOS BRASILEIRO E PARANAENSE. **Revista (RE) DEFINIÇÕES DAS FRONTEIRAS**, v. 1, n. 2, p. 349-360, 2023.

GRISA, N. Diferentes formas de inoculação e coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* na cultura da soja. 2020.

GUIMARÃES, Mikael Evangelista et al. DIFERENTES MODOS DE APLICAÇÃO DE INOCULANTES NA CULTURA DA SOJA. 2023.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. *Bragantia*, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

HORN, C. et al. Early-season plant-to-plant spatial uniformity can affect soybean yields. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 13, p. 955663, 2022.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Alternative methods of soybean inoculation to improve biological nitrogen fixation and grain yield under drought. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 161, p. 98–108, 2014.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*, v. 53, p. 279–290, 2017.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. In-furrow inoculation of soybean as alternative to fungicide and micronutrient seed treatment. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 1013–1020, 2005.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio em soja no Brasil: avaliação das taxas de fixação e contribuição para a nutrição da planta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 8, p. 1239-1246, 2006.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do Processo de fixação biológica de nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina, Embrapa Soja, 2007. 80p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; CAMPO, RUBENS J.; MENDES, I. de C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2001.

HUNGRIA, M. et al. *Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2005. (Documentos, 253)..

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, Marco Antonio. Fixação biológica do nitrogênio. 2022.

JENSEN, E.S. Inoculation of pea by application of *Rhizobium* in the planting furrow. *Plant Soil*, 97:63-70, 1987.

KOCHHANN, Rainoldo Alberto et al. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Embrapa Trigo, 2000.

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A. de S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.D.; SILVEIRA, G.M. da. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. *Bragantia*, Campinas, v.48, n.2, p.249-262, 1989.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, Madison, v. 2, n. 2, p.176-77, 1962.

MANTOVANI, E.C.; MANTOVANI, B.H.M.; CRUZ, I.; MEWES, W.L.C.; OLIVEIRA, A.C. Desempenho de dois sistemas distribuidores de sementes utilizados em semeadoras de milho. *Pesq. agropec. bras.* Brasília/DF. v.34, n.1, p.93-98. 1999.

MA, Y.; XIAO, C.; LIU, J.; REN, G. Nutrient-dependent regulation of symbiotic nitrogen fixation in legumes. *Horticulture Research*, v. 12, n. 3, p. uhae321, 2024. DOI: 10.1093/hr/uhae321.

MARQUES, João. A evolução da mecanização e o uso de defensivos na agricultura brasileira. *Revista Brasileira de Agricultura*, v. 45, n. 2, p. 123-135, 2023.

MARTINS, D. C. et al. Componentes do rendimento e produtividade de grãos de soja em função de sistemas de manejo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 3, p. 1125–1138, 2015.

MATOS, D. S. et al. Mecanismos sulcadores e velocidades de semeadura na qualidade do estabelecimento inicial da soja. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 13, n. 1, p. 155-165, 2023. DOI: 10.21206/rbas.v13i1.14883.

MEERT, Leandro et al. Diferentes inoculantes, formas de inoculação e seus efeitos sobre as características agrônômicas da cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e2969108499-e2969108499, 2020.

MELO, C. L. P. de et al. Inoculação com *Bradyrhizobium* e adubação nitrogenada em cobertura no crescimento inicial e produtividade da soja. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 64, p. 1-8, 2021.

MENDES, I. C. et al. Fixação biológica de nitrogênio no Brasil: avanços e desafios. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.55, e01555, 2020.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

MÜHL, C. et al. Velocidade de semeadura e seus efeitos na produtividade da soja. *Revista Científica da UCEFF*, v. 9, n. 2, p. 45-56, 2022. DOI: 10.53323/uc.v9i2.189.

NETO, Caetano Alberti et al. INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE DOSES DE INOCULANTE NO SULCO DE SEMEADURA SOBRE O DESENVOLVIMENTO E NODULAÇÃO NA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* L.). **Revista Scientia Rural-ISSN 2178-3608**, v. 1, p. 98-112, 2022.

NORONHA, R. H. F. et al. Qualidade de semeadura da soja com diferentes mecanismos dosadores de sementes e velocidades de deslocamento. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 7, n. 2, p. 50–57, 2020.

PATRIARCA, E. J.; TATÈ, R.; IACCARINO, M. Key role of bacterial NH_4^+ metabolism in *Rhizobium*-plant symbiosis. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 66, n. 2, p. 203–222, 2002.

PEREIRA, C. S.; CALLEFI, W. P.; FIORINI, I. V. A.; PEREIRA, H. D.; LANGE, A. FORMAS DE APLICAÇÃO DE INOCULANTE NA CULTURA DA SOJA. *TECNO-LÓGICA*, Santa Cruz do Sul, v. 26, n. 2, p. 147-151, jul./dez. 2022.

PROCÓPIO, S. O. et al. Métodos de inoculação e suas influências sobre a emergência e desenvolvimento inicial da soja. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 36, n. 4, p. 411–418, 2013.

REYNALDO, É. F., MACHADO, T. M., TAUBINGER, L., & DE QUADROS, D. NOTA TÉCNICA: Influência da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes e produtividade de soja. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 24, n. 1, p. 63-67, 2016.

REZENDE, P. M. et al. População de plantas e produtividade de soja em diferentes ambientes de cultivo. *Bioscience Journal*, v. 32, n. 2, p. 407–415, 2016.

RODRIGUES, E. P. et al. Plant growth regulators improve nitrogen metabolism, yield, and quality of soybean–rhizobia symbiosis. *Annals of Microbiology*, v. 73, n. 1, p. 15, 2023. DOI: 10.1186/s13213-023-01721-y.

SANTOS, M. A. et al. Eficiência da inoculação de *Bradyrhizobium* na cultura da soja em função de modos de aplicação. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, p. 456-465, 2019.

SANTOS, M. A. dos et al. Resposta morfofisiológica da soja à inoculação com *Bradyrhizobium* spp. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 42, n. 2, p. 556-564, 2019.

SANGOI, L. et al. High density and uniform plant distribution improve soybean yield by regulating population uniformity and canopy light interception. *Agronomy*, Basel, v. 11, n. 9, p. 1880, 2021.

SIEGA, J. et al. Soybean seed distribution and plant spacing uniformity under different planting speeds. *Cerrado: Agricultural and Biological Research*, v. 3, p. e20240012, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.10680050.

SILVA, J. G. et al. Efeitos da velocidade de operação e da profundidade de adubação de uma semeadora adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do feijoeiro sob plantio direto. **Avanços tecnológicos com a cultura do feijoeiro comum no sistema de plantio direto**, p. 21, 1999.

SILVA, Felipe et al. **Soja: do plantio à colheita**. Oficina de Textos, 2022.

SILVA, D. F.; RAIMUNDO, E. KADOSHI. Moraes; FORTI, Victor Augusto. Nodulação em plantas de soja, *Glycine max* L. Merrill, submetidas a diferentes adubações. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 3, p. 470-475, 2019.

SOUZA, Luiz Gustavo Moretti de. Otimização da Fixação Biológica de Nitrogênio na soja em função da reinoculação em cobertura sob Plantio Direto. 2016.

TOFFOLO, Alexandre et al. APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E INOCULAÇÃO DE BRADYRHIZOBIUM SP. NA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* L.) NA REGIÃO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL. **Revista Ciência Agrícola**, v. 20, n. 1, p. 19-24, 2022.

Vieira, Rosana Faria. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas / Rosana Faria Vieira.-- Brasília, DF : Embrapa, 2017. 163 p.

VIEIRA NETO, S. A.; PIRES, F. R.; MADALÃO, J. C.; VIANA, D. G.; MENEZES, C. C. E.; ASSIS, R. L. Growth and yield performance of soybean with the application of Bradyrhizobium inoculant via furrow and seed. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 38, n. 4 Supl.1, p. 2387–2402, 2017.

XU, W. et al. Effects of plant spacing uniformity on soybean seed yield under different planting speeds. *Agronomy*, v. 11, n. 5, p. 856, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11050856.

YANG, Q. et al. Environmental and genetic regulation of plant height in soybean. *BMC Plant Biology*, London, v. 21, 2021.

ZHANG, F. & SMITH, D.L. Application of genistein to inocula and soil to overcome low spring soil temperature inhibition of soybean nodulation and nitrogen fixation. *Plant Soil*, 192:141-151, 1997.

ZIBIANI, Renan Mariano et al. Inoculação com Bradyrhizobium via Sulco de Plantio e Formas de Aplicação de Cobalto e Molibdênio na Cultura da Soja de Segundo Ano. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 27, n. 2, p. 197-203, 2023.

ZILLI, J. E. et al. Advances in biological nitrogen fixation in tropical agriculture. *Microorganisms*, Basel, v. 9, n. 6, p. 1255, 2021.

ZILLI, J. É.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R. J.; ROUWS, J. R. C.; HUNGRIA, M. In-furrow inoculation with Bradyrhizobium alternatively to seed inoculation of soybean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1875–1881, 2010.

ZILLI, J.E.; RIBEIRO, K.G.; CAMPO, R.J. & HUNGRIA, M. Influência do tratamento de sementes com fungicidas na nodulação e rendimento de grãos da 23 soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:917-923, 2009.

ZILLI, J. É. et al. Resposta da soja à inoculação de Bradyrhizobium em área de primeiro cultivo no Cerrado de Roraima. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 3, p. 463-470, 2010.

ZILLI, J. É.; MOREIRA, F. M. S.; HUNGRIA, M. BNF technologies for soybean. In: SINGH, R. P.; JAIN, A.; PANDEY, G. K. (org.). *Symbiotic Soil Microorganisms: Understanding and Exploiting Their Multifunctional Lifestyle*. Cham: Springer, 2021. p. 393–431.