

**INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – IFRS
Campus Ibirubá**

VANESSA ESTERIS CASTIONI

**RESPOSTA DA CULTURA DA SOJA À INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS
FIXADORAS DE NITROGÊNIO E PROMOTORAS DE CRESCIMENTO**

**IBIRUBÁ- RS
2025**

VANESSA ESTERIS CASTIONI

**RESPOSTA DA CULTURA DA SOJA À INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS
FIXADORAS DE NITROGÊNIO E PROMOTORAS DE CRESCIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado junto ao Curso Superior de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Dr. Rodrigo Luiz Ludwig

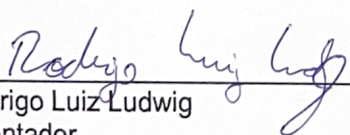
**IBIRUBÁ - RS
2025**


VANESSA ESTERIS CASTIONI

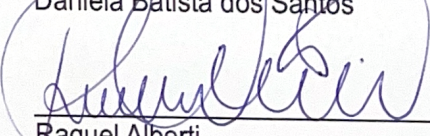
**RESPOSTA DA CULTURA DA SOJA À INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS
FIXADORAS DE NITROGÊNIO E PROMOTORAS DE CRESCIMENTO**

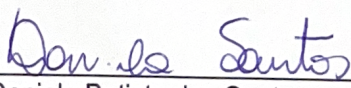
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado junto ao Curso Superior de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovado em 16/01/2025.


Rodrigo Luiz Ludwig
Orientador


Daniela Batista dos Santos


Raquel Alberti


Daniela Batista dos Santos
Coordenadora do Curso de Agronomia
do IFRS – Campus Ibirubá

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde, força, coragem e fazer acontecer cada detalhe que me trouxe até aqui.

Ao meu marido Ezequiel Castioni, meu alicerce, meu grande porto seguro e incentivador, por se fazer tão presente e paciente durante todo o processo, segurando a minha mão e caminhando ao meu lado. Teu apoio foi essencial, muito obrigado por tudo.

A minha filha Martina Esteris Castioni que me mostrou uma força que eu não imaginava existir em mim e onde eu descobri o AMOR na sua essência divina.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu orientador Rodrigo Luiz Ludwig pelo suporte, paciência e por todas as correções e incentivos. A professora Raquel Alberti por me ouvir, e tornar o percurso mais leve e confiante. A professora Daniela Batista dos Santos, por acreditar em mim e ser uma inspiração, nunca esquecerei daquele e-mail enviado pelas tuas mãos avisando sobre a disponibilidade de vagas para diplomados, a qual eu já esperava por quase 5 anos. Gratidão a vocês doutores de vida, por oportunizarem a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, enraizado na confiança e ética aqui presente.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Agronomia
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus
Ibirubá

RESPOSTA DA CULTURA DA SOJA À INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO E PROMOTORAS DE CRESCIMENTO APLICADAS NO SULCO DE SEMEADURA

Autor: Vanessa Esteris Castioni
Orientador: Rodrigo Luiz Ludwig
Ibirubá/RS, 16 de Janeiro de 2025.

A soja, uma planta rica em óleo da família Fabaceae, possui um papel essencial na nutrição de seres humanos e animais, sendo amplamente cultivada ao redor do mundo. No cenário brasileiro, subprodutos como farelo e óleo de soja se destacam nas exportações agrícolas. Neste contexto o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas agronômicas da cultura da soja à inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio e bactérias promotoras de crescimento, aplicadas no sulco de semeadura. O estudo foi conduzido a campo no município de Colorado – RS, na safra 2023/24. A cultivar utilizada foi a BMX 55I57 RSF IPRO e o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e com quatro tratamentos (1) – Testemunha; (2) - BioFree (*Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens*); (3) - NPKbio (*Pseudomonas azotofixans* + *Bacillus subtilis* + *B. licheniformis* + *B. circulans*); (4) - *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *B. pumilus* + *Bradyrhizobium japonicum* (Cepas: SEMIA 5079 e SEMIA 5080). Cada parcela possuía 35,1 m² (5,85 m de largura e 6 m de comprimento), totalizando 16 unidades experimentais. Foram avaliadas população de plantas, altura de plantas, número de legumes por planta, legumes com 1, 2, 3 e 4 grãos, massa de mil grão e produtividade. Os dados foram submetidos a análise variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os tratamentos avaliados influenciaram significativamente na altura das plantas, no número de legumes e na produtividade da soja. Notavelmente, o tratamento 4 se destacou ao apresentar as maiores alturas de plantas e a maior produtividade, havendo diferença de 19,7% entre o tratamento com maior produtividade (T4) e menor produtividade (T2).

Palavras-chave: *Glycine max*, Fixação biológica de nitrogênio. Promoção de crescimento. Hormônios vegetais.

ABSTRACT

Completion of course work
Agronomy Course
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus
Ibirubá

SOYBEAN CROP RESPONSE TO INOCULATION WITH NITROGEN-FIXING AND GROWTH-PROMOTING BACTERIA APPLIED IN THE SOWING FURROW

AUTHOR:: Vanessa Esteris Castioni

ADVISOR: Rodrigo Luiz Ludwig

Ibirubá/RS, 16 de January de 2025.

The Soy, an oil-rich plant from the Fabaceae family, plays an essential role in the nutrition of humans and animals, being widely cultivated around the world. In the Brazilian context, by-products such as soybean meal and oil are at the forefront of agricultural exports. In this context, the objective of this work was to evaluate the agronomic responses of soybean crops to inoculation with nitrogen-fixing bacteria and growth-promoting bacteria, applied in the sowing furrow. The study was conducted in the field in the city of Colorado – RS. The cultivar used was BMX 55157 RSF IPRO and the experimental design used was randomized blocks, with four replications and four treatments (1) – Control; (2) - BioFree (*Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens*); (3) - NPKbio (*P. azotofixans* + *B. subtilis* + *B. licheniformis* + *B. circulans*); (4) - *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus pumilus* + *Bradyrhizobium japonicum* (Strains: SEMIA 5079 and SEMIA 5080). Each plot was 35.1 m² (5.85 m wide and 6 m long), totaling 16 experimental units. Plant population, plant height, number of legumes, legumes with 1, 2, 3 and 4 grains, thousand seed mass and productivity were evaluated. The data were subjected to analysis of variance and Tukey's test at 5% probability. The evaluated treatments significantly influenced plant height, the number of vegetables and soybean productivity. Notably, treatment 4 stood out as it presented the highest plant heights and highest productivity, with a difference of 19.7% between the treatment with the highest productivity (T4) and the lowest productivity (T2).

Keywords: *Glycine max*, Biological nitrogen fixation. Growth promotion. Plant hormones.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	3
2	DESENVOLVIMENTO	4
2.1	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1.1	Inoculantes	6
2.1.2	Inoculação na cultura da soja.....	8
2.1.2.1	<i>Bacillus spp. e Paenobacillus spp.</i>	10
2.1.3	Fixação biológica de Nitrogênio	11
2.1.4	Solubilização de fosfato nas plantas	13
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	14
2.2.1	Localização e características climáticas da área	14
2.2.2	Análise de solo	15
2.2.3	Delineamento experimental.....	16
2.2.4	Implantação e condução do experimento	18
2.2.5	Manejo fitossanitário do experimento.....	24
2.2.6	Análise estatística.....	26
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICES	50

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) representa a cultura predominante no Brasil, com uma área cultivada estimada em 45,7 milhões de hectares na safra 2023/2024, resultando em uma colheita de mais de 149,4 milhões de toneladas de grãos no último ano (CONAB, 2024). Além disso, a soja é uma excelente candidata para explorar a fixação biológica de nitrogênio (FBN), já que a inoculação das sementes com cepas eficazes de *Bradyrhizobium* pode resultar em taxas de nitrogênio atmosférico fixado (N₂) superiores a 80% (ALVES et al., 2006; HUNGRIA et al., 2006) e em altos rendimentos de grãos (ZILLI; CAMPO; HUNGRIA, 2010; KASCHUK et al., 2016; MORETTI et al., 2020).

Em termos de fertilizantes nitrogenados (N), as economias alcançadas com o uso da FBN no Brasil ultrapassam 12 milhões de toneladas de N mineral por ano, representando um valor superior a US\$ 13 bilhões (HUNGRIA; MENDES, 2015; SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2019; ZILLI et al., 2020).

Dado o papel crucial da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na sustentabilidade agrícola e na viabilidade da cultura da soja (ALVES; BODDEY; URQUIAGA, 2003), é fundamental realizar um monitoramento contínuo da eficiência desse processo biológico. A reinoculação com cepas de *Bradyrhizobium* é uma prática recomendada para aumentar o rendimento de grãos de soja, mesmo em solos com altas populações dessas bactérias, devido à variação na sobrevivência desses microrganismos com o tipo de solo e cepa utilizada (LIMA et al., 2022).

Os sistemas agrícolas intensivos contribuem para a redução da fertilidade do solo, o que pode resultar na degradação ambiental, bem como na queda na quantidade e qualidade da produção agrícola (BONANOMI et al., 2020). Uma alternativa aos recursos de produção convencionais utilizados para apoiar a produção agrícola podem ser as preparações biológicas que servem como biofertilizantes e biopesticidas.

Estes destinam-se a proteger as plantas contra patógenos, influenciar a fertilidade do solo e moldar o crescimento e desenvolvimento das plantas (DINCĂ et al., 2022). Um grupo importante de preparações biológicas são aquelas contendo rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR), que compreendem cepas bacterianas de *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Pseudomonas* e *Serratia* (EID et al.,

2021). As bactérias da rizosfera apoiam a recuperação de nutrientes do solo e são importantes para a fertilidade do solo (KUMAR et al., 2022).

Além do nitrogênio, outro macronutriente muito importante para os vegetais é o fósforo (P). Este apresenta dinâmica bem distinta no solo. Desta forma, tem-se constatado a aplicação de fertilizantes fosfatados com objetivo de suprir a deficiência deste elemento. Porém, quando fontes solúveis de P são adicionadas ao solo, esse elemento pode ser adsorvido na superfície dos colóides ou convertido a compostos muito pouco solúveis de Fe e Al (BRADY; WEIL, 1996; GUIMARÃES et al.,2021). Isso contribui para o baixo nível de eficiência (10% a 25%) dos adubos fosfatados aplicado ao solo. Para superar esses problemas, doses relativamente elevadas de fertilizantes são necessárias para a obtenção de produções econômicas. Neste contexto, a solubilização de fosfato por microrganismos que inoculados, via semente ou sulco de semeadura, vem sendo amplamente estudados (GUIMARÃES et al.,2021).

A interação entre microrganismos e fontes de P é também uma forma de reduzir custos. Os microrganismos podem ser usados na forma de inoculantes visando o aumento da disponibilidade de P para as plantas, por meio da solubilização e mineralização do P de fontes inorgânicas e orgânicas, respectivamente (RICHARDSON; SIMPSON 2011). O principal efeito da solubilização de fosforo na promoção de crescimento de plantas está no aumento da biomassa e no teor de P das plantas (BASHAN et al., 2004; GUIMARÃES et al.,2021).

Diante dos resultados de pesquisa e dos avanços tecnológicos de produção de inoculantes para coinoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio, a busca de microrganismos com potencial para a promoção de crescimento, com enfoque na solubilização de fosforo é uma nova realidade a ser explorada, principalmente para o cultivo em Latossolos, o qual têm a característica de grande imobilização de P, reduzindo bastante a eficiência de absorção deste nutriente pelas plantas (GUIMARÃES et al.,2021).

Portanto o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas agronômicas da cultura da soja à inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio, bactérias promotoras de crescimento e solubilização de fosforo mediante coinoculação, aplicadas no sulco de semeadura.

1.1 OBJETIVOS

- Avaliar respostas agronômicas da soja à inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio e promotoras de crescimento, via sulco de semeadura.
- Qual a eficiência dos produtos visando maior produtividade?

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

A soja é uma dicotiledônea herbácea anual, originalmente cultivada na região oriental da Ásia (ALIYEV; MIRZOYEV, 2010). Até o século XIX, seu cultivo permaneceu restrito aos países orientais, e se espalhou para outros continentes, como América e África, apenas no final deste período (DALL'AGNOL et al., 2007; ALIYEV; MIRZOYEV, 2010). Atualmente, os principais produtores de soja são os EUA, o Brasil e a Argentina.

A soja é a principal cultura do Brasil, incluindo área e produção. Contudo, nem sempre foi assim. Em 1960, a soja era uma cultura menos expressiva no Brasil, quando a produção era de apenas cerca de 200 mil toneladas (ton). Naquela época, os Estados Unidos da América (EUA) já eram o maior produtor com uma produção de 15 milhões de toneladas e a China era o segundo, com 8,5 toneladas (FREITAS et al., 2011).

A chegada da soja ao Brasil, introduzida pelos EUA em 1882, inicialmente limitava-se ao sul do país devido à adaptação inadequada das cultivares americanas ao clima tropical (GAZZONI et al., 2018).

Somente após a triagem genética adequada para as condições locais, a produção de soja expandiu-se progressivamente, especialmente a partir da década de 1960, impulsionada por programas governamentais e pelo aumento dos preços no mercado mundial (FREITAS, 2011). A expansão ocorreu do sul para o centro-oeste e depois para o norte do país, impulsionada pelo desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes latitudes.

Esse crescimento transformou o Brasil de importador de alimentos na década de 1960 em um dos maiores exportadores na década de 2000, impulsionando não apenas a produção de soja, mas também de outras culturas, como o milho, resultando em um aumento significativo da produtividade agrícola (NEHRING, 2022).

Desde a década de 1970, a soja tem sido a força motriz por trás do significativo desenvolvimento agrícola do Brasil. Além de liderar a área cultivada e a produção de culturas no país, tornou-se o principal produto exportado, seguido pelas carnes. A importância econômica da soja é inegável, com um valor bruto de produção significativo e contribuição significativa para o PIB das regiões produtoras.

Apesar da predominância no setor primário, a cadeia produtiva da soja gera empregos em diversos setores, incluindo serviços e indústria (DERETTI et al., 2022). O crescimento da soja desencadeou uma série de mudanças no setor agrícola brasileiro, desde a expansão da fronteira agrícola até o estímulo à migração populacional para o interior do país e a modernização da infraestrutura agrícola.

A combinação de características genéticas naturais com intensos programas de melhoramento resultou em cultivares altamente produtivas, com excepcional capacidade de fixação de nitrogênio e alto teor de óleo e proteína nos grãos (MARTIN et al., 2023).

A produtividade média da soja brasileira atualmente atinge 56,2 sacas por hectares, com teores médios de proteína de 38% e óleo de 25% nos grãos, colhidos em até 120 dias (SOUZA et al., 2009; FARIAS, 2024). Esses grãos não apenas alimentam diretamente seres humanos através de produtos como óleo vegetal, carne e leite de soja, mas também são fundamentais na alimentação de uma vasta gama de animais, que por sua vez produzem ovos, carne e leite (MARTIN et al., 2023).

Anualmente, o Brasil cultiva 45,7 milhões de hectares de soja (SAMORA, 2023), consolidando-se como o maior produtor mundial e principal exportador dessa oleaginosa desde 2020. A globalização e investimentos nacionais têm impulsionado avanços significativos nos sistemas de produção da soja. O cultivo é conduzido em níveis tecnológicos e científicos avançados, apoiados por tecnologia de ponta em maquinário agrícola, práticas de manejo intensivo, contínuo melhoramento genético, e uma grande comunidade de profissionais dedicados à cultura.

A cultura da soja possui uma elevada demanda de nitrogênio (N) e fósforo (P), nutrientes essenciais para o crescimento e a produtividade da planta. No entanto, o manejo desses nutrientes representa um grande impacto nos custos de produção. O nitrogênio é particularmente importante para a soja, pois participa da síntese de proteínas e de outros compostos fundamentais. Porém, os fertilizantes nitrogenados possuem um alto custo devido ao processo industrial de síntese que exige grande quantidade de energia e, portanto, são economicamente onerosos e ambientalmente impactantes (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2015).

O fósforo é igualmente crucial, pois é necessário para o desenvolvimento radicular e para a atividade fotossintética, além de desempenhar papel na eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) em leguminosas como a soja. A baixa disponibilidade de fósforo em solos, especialmente na forma assimilável pela planta,

exige a aplicação de fertilizantes fosfatados. A aquisição e aplicação desses fertilizantes também eleva os custos, representando uma parte importante do orçamento de fertilização para a cultura da soja (VITTI; FURLANI, 1997).

Portanto, os inoculantes bacterianos desempenham um papel essencial, oferecendo uma solução eficaz para melhorar a fixação biológica de nitrogênio e aumentar os rendimentos das lavouras.

2.1.1 Inoculantes

Segundo o Decreto nº 4.954, de 2004 (BRASIL, 2004), inoculantes são produtos que contenham microrganismo, que atuem no favorecimento do crescimento de plantas.

A grande maioria dos primeiros inoculantes fabricados continha apenas uma espécie de microrganismo e, em geral, uma cepa, aquela que apresentava os melhores resultados de inoculação para uma determinada cultura. As exceções incluíam no máximo dois microrganismos “do mesmo tipo”, por exemplo, duas cepas ou espécies de *Bradyrhizobium* para soja (VIEIRA NETO et al., 2008).

O uso de duas cepas no mesmo inoculante aumentaria as chances de pelo menos uma nodular e ter bom desempenho com a leguminosa. Por exemplo, no Brasil, a combinação de duas linhagens de *Bradyrhizobium* para a cultura da soja tem sido preferencialmente utilizada pelos agricultores desde a década de 1950 (HUNGRIA; MENDES, 2015).

Particularmente na última década, o uso de inoculantes contendo microrganismos de “tipos diferentes” se expandiu. A ideia é combinar cepas ou espécies que atuam em diferentes processos microbianos, de modo que os benefícios combinados de cada uma resultem em maiores benefícios e, em última análise, em rendimentos. Exemplos de inoculantes mistos são aqueles que combinam microrganismos cujos principais processos são FBN (por exemplo, *Bradyrhizobium* spp., *Rhizobium* spp.) e produção de fitohormônios (por exemplo, *Azospirillum* spp., *Pseudomonas* spp.), solubilização de fosfato (por exemplo, *Bacillus* spp.), ou controle biológico. (Por exemplo, *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp.). Caso os microrganismos não possam ser combinados em um único produto, eles são fabricados separadamente e os sacos contendo cada um deles são vendidos na mesma embalagem (JUNIOR et al., 2022).

Bacillus subtilis é uma bactéria saprófita que decompõe compostos orgânicos vegetais e produz uma variedade de compostos benéficos, como antibióticos, aminoácidos, polissacarídeos e enzimas. Além disso, ela forma sideróforos que ligam íons de ferro, beneficiando as plantas. Essas bactérias também reduzem fungos e bactérias patogênicas no solo, melhorando a saúde das culturas. *Bacillus subtilis* contribui para a solubilização de fósforo, fixação de nitrogênio e aumento da tolerância ao estresse nas plantas (JUNIOR et al., 2022).

Paenibacillus azotofixans, anteriormente classificado como *Bacillus azotofixans*, é conhecido por sua capacidade de fixação de nitrogênio e promoção do crescimento das plantas, especialmente em culturas como milho, trigo e sorgo. Sua utilização como biofertilizante pode beneficiar a estabilidade ambiental na agricultura intensiva (GUELLA et al., 2019).

A aplicação de inoculantes mistos costuma ser chamada de coinoculação ou inoculação mista e atualmente é possível encontrar no mercado coinoculantes para diversas culturas. A eficiência da coinoculação está intimamente relacionada à seleção adequada das cepas, à concentração celular de cada uma, ao método de inoculação (aplicada nas sementes, pulverização foliar, no sulco) e ao genótipo da planta. Portanto, são necessárias pesquisas que gerem conhecimento visando a produção de novas formulações para inoculantes comerciais com bactérias mistas (CASSÁN; OKON; CREUS 2015), e sobre métodos alternativos de aplicação de inoculantes e moléculas microbianas (CAMPO et al., 2010; FUKAMI et al., 2016).

No Brasil, a coinoculação de *A. brasilense* com *Bradyrhizobium* spp. para a cultura da soja e com *Rhizobium tropici* para o feijão comum foi lançado em 2013 e foram relatados aumentos impressionantes no rendimento de grãos (HUNGRIA; MENDES, 2015; SOUZA; FERREIRA, 2017; NOGUEIRA et al., 2018).

Mesmo em áreas com elevada população de rizóbios compatíveis para ambas as culturas ($> 10^4$ células de rizóbios compatíveis/g de solo), para a cultura da soja a inoculação única de *Bradyrhizobium* resultou em aumentos médios de 8,4% no rendimento de grãos em comparação com a população naturalizada, enquanto a coinoculação com *A. brasilense* promoveu um “upgrade” para 16,1%; para o feijão comum, a inoculação única com *R. tropici* aumentou o rendimento em 8,3%, enquanto a coinoculação melhorou o rendimento em 19,6% (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013).

Desde então, outros benefícios atribuídos à coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* no Brasil são a promoção da nodulação precoce (CHIBEBA et al., 2015) e o aumento da tolerância à restrição hídrica moderada (CEREZINI et al., 2016).

Além de *Azospirillum* spp., foram relatados como bem-sucedidos em ensaios de coinoculação com soja, como *Pseudomonas* sp. (EGAMBERDIEVA et al., 2017; PAWAR et al., 2018), *Actinomyces* sp. (NIMNOI; PONGSILP; LUMYON. 2014), *Bacillus* sp. (ATIENO et al., 2012; SUBRAMANIAN et al., 2014; PETKAR; DESHMUKH; JADHAV, 2018).

Melhorias nos rendimentos também foram relatadas com a coinoculação de rizóbios apresentando diferentes mecanismos de ação. Por exemplo, Jesus et al. (2018) verificaram benefícios pela coinoculação do feijoeiro com *R. tropici* CIAT 899, *Bradyrhizobium diazoefficiens* USDA 110 e *Bradyrhizobium elkanii* 29w; segundo os autores, *Bradyrhizobium* spp. melhora a eficiência da simbiose do *Rhizobium*, resultando em maior número de nódulos, produção de biomassa e acúmulo de N. O mecanismo sugerido é que *Bradyrhizobium* sp. coinoculado produz moléculas sinalizadoras, como fatores de nodulação (fatores Nod) e polissacarídeos de superfície que estimulam a nodulação radicular por *R. tropici*, melhorando a eficiência da FBN.

A coinoculação também demonstrou ser eficiente sob diversas condições limitantes, como em solos com baixo teor de fosfato. Geralmente, a FBN fica comprometida nessas situações, mas a coinoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato pode torná-la disponível para a nutrição das plantas e, no caso das leguminosas, ajudar a garantir os benefícios da FBN (JORQUERA et al., 2008).

Korir et al. (2017) avaliaram os efeitos da coinoculação em feijão cultivado em solo com baixo P e observaram que plantas inoculadas com *Rhizobium* cepa IITA-PAU 987 e *Bacillus megaterium* aumentaram a nodulação, a massa seca da parte aérea e tiveram aumento de 31% na FBN quando comparadas com a inoculação única com *Rhizobium*.

2.1.2 Inoculação na cultura da soja

A pesquisa brasileira para produção e comercialização de inoculantes está muito avançada e o país possui uma das legislações mais completas nesta área. Resoluções comuns para a comercialização de inoculantes foram definidas em 1998 para o Mercosul, o mercado comum que inclui Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai. Na sequência, no Brasil, uma legislação de 2004 incluiu definições e normas sobre especificações, garantias, registros, embalagens e rotulagem de inoculantes, bem como a lista dos microrganismos que poderiam ser utilizados em inoculantes comerciais no país; o documento foi atualizado em 2011 (MAPA, 2011).

Atualmente, quatro cepas de *Bradyrhizobium* estão autorizadas para produção de inoculantes de soja no país (*Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 (= CPAC 15), *B. diazoefficiens* SEMIA 5080 (= CPAC 7), *B. elkanii* SEMIA 5019 (= 29w) e SEMIA 587). A legislação ainda estabelece concentração mínima de células viáveis (1×10^9 células viáveis/g ou mL) do inoculante até o prazo de validade, que deve ser de no mínimo 6 meses, e isento de contaminantes na diluição 1×10^{-5} (HUNGRIA et al., 2010; MAPA, 2011).

A recomendação técnica no Brasil indica uma dose que permita pelo menos 1,2 milhões de células viáveis/semente para garantir uma nodulação bem-sucedida (HUNGRIA et al., 2017; HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019). A credibilidade do mercado de inoculantes no Brasil depende de rigorosa regulamentação legal. Curiosamente, a legislação foi criada com base principalmente na legislação australiana, onde hoje em dia a regulamentação depende de um acordo entre parceiros, como um controle voluntário (BULLARD; ROUGHLEY; PULSFORD, 2005).

No Brasil, na Argentina e em outros países da América do Sul, resultados bem-sucedidos foram alcançados com a reinoculação em soja, ou seja, a inoculação anual mesmo em solos que apresentam população de rizóbios compatíveis bem estabelecida a partir de inoculações anteriores (HUNGRIA et al., 2001; HUNGRIA; MENDES, 2015). A reinoculação visa restaurar a diversidade microbiana do solo, melhorar sua capacidade de suportar atividades agrícolas e restabelecer os benefícios associados aos microrganismos benéficos (ANPII, 2023).

Essa prática levou à comercialização de mais de 70 milhões de doses de inoculantes para soja no Brasil na última safra. As estimativas no Brasil são de que a reinoculação aumenta o rendimento de grãos de soja em 8% em média (HUNGRIA; MENDES, 2015) e em 6,8% (LEGGETT et al., 2017) a 14% (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2016) na Argentina. Nos EUA, a reinoculação não é tradicionalmente

recomendada, com base nos resultados de um estudo anterior mostrando que populações de rizóbios tão baixas quanto 10 células/g inibiriam a formação de nódulos por cepas inoculantes (THIES; WOOMER; SINGLETON, 1995).

No entanto, os aumentos médios de rendimento devido à inoculação, considerando as áreas de cultivo tradicional de soja, foram recentemente estimados em 1,67% (LEGGETT et al., 2017), mas provavelmente poderiam ser maiores se altos níveis de fertilizantes N não fossem aplicados às culturas que compõem a cultura da soja (CHANG; LEE; HUNGRIA, 2015). Surpreendentemente, mesmo os estudos mais recentes sobre a quantificação da FBN da soja nos EUA levam em consideração muitos locais, a fertilidade do solo e a aplicação de N mineral, mas não o componente de reinoculação (CÓRDOVA et al., 2019). Certamente, a reinoculação anual é responsável pela alta contribuição da FBN para a nutrição de N da soja no Brasil, com valores que chegam a 94% do acúmulo de N acima do solo (HUNGRIA et al., 2006), enquanto nos EUA esses valores variam de 23 a 65% (CÓRDOVA et al., 2019).

2.1.2.1 *Bacillus spp.* e *Paenobacillus spp.*

Numerosas cepas de *Bacillus* e *Paenobacillus* spp. expressam atividades que suprimem pragas e patógenos ou promovem o crescimento das plantas. Muitas dessas cepas já foram desenvolvidas comercialmente como fungicidas biológicos, inseticidas e nematicidas, ou promotores de crescimento de plantas (COSTA et al., 2013). Melhorias na produtividade das plantas são mediadas por três mecanismos ecológicos diferentes: antagonismo contra pragas e patógenos, promoção da nutrição e crescimento do hospedeiro, e estimulação das defesas das plantas hospedeiras (REZENDE et al., 2021).

A colonização da fitosfera é necessária para que um microrganismo influencie diretamente a sanidade da planta. A colonização das raízes por cepas inoculantes tem sido associada à supressão de doenças, promoção de crescimento e aumento do rendimento em vários sistemas (GARCIA; FIUZA, 2015).

Embora menos frequentemente relatadas, aplicações de pulverização de cepas inoculantes de *Bacillus* em partes aéreas das plantas podem levar à colonização e têm efeitos benéficos na saúde das plantas (SILVEIRA, 2021). Populações de *Bacillus* spp. têm mostrado variações ao longo do tempo (BATSON, 2000), tipo de solo (BRITO

et al., 2020), cultivar de cultura (DA MOTA et al., 2002) e padrão de cultivo (NASCIMENTO, 2020).

A abundância de cepas inoculantes de *Bacillus* pode também flutuar, mas elas geralmente diminuem ao longo do tempo, especialmente quando aplicadas em concentrações mais altas do que as das populações nativas (HADDAD, 2011). No entanto, as populações de inoculantes podem persistir em excesso de log 4 células por grama de peso fresco ao longo da estação de crescimento (NELSON, 2004) e recolonizar culturas cultivadas em anos subsequentes.

Estudos realizados por Jain et al. (2010) demonstraram que isolados de *Bacillus* podem aumentar o peso fresco da parte aérea e da raiz da soja, além de incrementar o número de raízes laterais. De forma similar, Clemente et al. (2016) observaram um aumento expressivo na produtividade em lavouras de cenoura após a aplicação de um composto fermentado com linhagens selecionadas de *Bacillus* sp.

De acordo com Araújo et al. (2010), espécies de *Bacillus subtilis* têm um efeito positivo na nodulação. Além disso, elas desempenham um papel indireto na supressão de doenças e um papel direto na produção ou alteração da concentração de fitohormônios, na fixação de nitrogênio e na solubilização de fosfatos minerais e outros nutrientes do solo. Essas ações resultam em um aumento na produção de raízes e sideróforos (GAGNÉ-BOURQUE et al., 2015). Portanto, podem aumentar a produtividade, especialmente quando utilizadas em conjunto com outras práticas de manejo, como a fertilização (LIMA, 2010; BRAGA JUNIOR et al., 2017).

2.1.3 Fixação biológica de Nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio transforma o di-nitrogênio (N_2) em uma forma utilizável pelas plantas, principalmente em NH_4^+ (MACHADO, 2021). Esse processo envolve a combinação do N_2 com íons de hidrogênio da água. Além de ser mediado biologicamente, o N_2 também pode ser oxidado a nitrato (NO_3^-) por raios ou fogo, que contribuem com cerca de 1% da amônia fixada anualmente (NUNES; RAIMONDI; NIEDWIESKI, 2003). Todos os organismos, tanto eucariotos quanto procariontes, dependem diretamente ou indiretamente da FBN para seu suprimento de nitrogênio, essencial para a síntese de ácidos nucleicos, proteínas e outros compostos nitrogenados orgânicos (FAGAN et al., 2007).

A fixação biológica de nitrogênio é um processo energeticamente custoso, exigindo 16 moléculas de ATP para quebrar uma molécula de N_2 . Para a assimilação e transporte de NH_4^+ , são necessárias mais 12 moléculas de ATP, totalizando 28 moléculas de ATP (QUESADA et al., 2000).

Plantas nodulantes devem fornecer cerca de 12 g de glicose às suas parceiras bacterianas para cada grama de nitrogênio beneficiado. No entanto, esse processo ainda é mais eficiente energeticamente do que o processo Haber-Bosch, desenvolvido em 1913, que requer temperaturas entre 400-500 °C e pressões de aproximadamente 200-250 bar para produzir a mesma quantidade de nitrogênio (GILCHRIST; BENJAMIN, 2017).

A fixação de N_2 é catalisada pela nitrogenase, uma enzima presente na maioria das bactérias fixadoras de nitrogênio. A nitrogenase é um complexo enzimático composto por dois componentes metálicos: a dinitrogenase MoFe (proteína molibdênio-ferro), que atua como componente catalítico, e a dinitrogenase redutase (proteína Fe). Esses componentes são codificados pelos genes *nif*, como *nifD* e *nifK* para a dinitrogenase MoFe, e *nifH* para a dinitrogenase redutase (referências 49-52). Além da nitrogenase, vários genes *nif* codificam proteínas reguladoras essenciais para a fixação de nitrogênio, que variam dependendo das necessidades de molibdênio (Mo), vanádio (V) ou ferro (Fe), resultando em três formas diferentes de nitrogenase (HARRIS et al., 2018).

A nitrogenase é extremamente sensível ao oxigênio, sendo inativada em ambientes aeróbicos. A Fe-nitrogenase e a V-nitrogenase são particularmente suscetíveis, enquanto a Mo-nitrogenase é menos sensível (referências 54-55). Para contornar esse problema, muitos microrganismos fixadores de nitrogênio desenvolveram estratégias adaptativas, como fixação de N_2 apenas em condições anaeróbicas ou microaerofílicas. Algumas cianobactérias, como *Nostoc* e *Anabaena*, formam células especializadas chamadas heterocistos para proteger a nitrogenase, enquanto outras cianobactérias não heterocísticas temporizam a fixação de N_2 durante períodos sem produção de O_2 (HARRIS et al., 2018; GILCHRIST; BENJAMIN, 2017).

Os estudos de Zago et al. (2018) investigaram os efeitos da aplicação de diferentes doses de *Bradyrhizobium* por pulverização na cultura da soja, encontrando que 1500 mL.ha⁻¹ resultaram em significativamente mais nódulos (180,65) e maior

massa seca dos nódulos ($4,44 \text{ g.planta}^{-1}$) comparado ao controle. Houve também aumentos na matéria seca da raiz ($17,30 \text{ g.planta}^{-1}$) e parte aérea ($64,33 \text{ g.planta}^{-1}$).

Barbaro et al. (2019) exploraram a interação entre densidades de semeadura e diferentes inoculantes na soja. A densidade de $14 \text{ sementes.m}^{-1}$ mostrou maior nodulação ($83,45$ nódulos por planta), destacando-se entre os tratamentos testados. A coinoculação resultou em maior produtividade de grãos ($2056,19 \text{ kg.ha}^{-1}$), enquanto a densidade de $16 \text{ sementes m}^{-1}$ obteve maior produtividade geral ($2286,48 \text{ kg.ha}^{-1}$).

2.1.4 Solubilização de fosfato nas plantas

O fósforo (P) é um elemento fundamental na produção agrícola e, juntamente com o nitrogênio e potássio, formam um trio de elementos essenciais para as plantas e os mais fornecidos via adubação para as plantas. A prática agrícola é responsável pelo consumo de 90% de todo P extraído, este é obtido por uma atividade extrativa mineral que tem como fonte a exploração da rocha fosfática (PANTANO et al., 2016; DA SILVA, 2023). Apesar de sua importância, este elemento apresenta baixa mobilidade no solo, tornando-se em alguns casos indisponível para a planta no decorrer do seu ciclo, se tornando um fator limitante na produtividade agrícola (VERARDI et al, 2016; PANTANO et al, 2016; DA SILVA, 2023).

O P é essencial para os processos energéticos. Sendo componente do ATP, ele possibilita o processo de fotossíntese, convertendo energia solar em energia química. O P também é importante para formar a maioria das estruturas celulares da planta, auxiliando no crescimento vegetal, floração e formação de sementes (NARLOCH, 2002 apud por DA SILVA, 2023). Além disso, o P é parte estrutural do difosfato de adenosina (ADP) e do trifosfato de adenosina (ATP), e está relacionado com o crescimento das raízes, maturação de frutos, formação de grãos, frutos e fibras e com o vigor das plantas (VITTI; WIT; FERNANDES, 2004 apud DA SILVA, 2023).

Como foi mencionado, microrganismos solubilizadores de P são parte integrante do ciclo do P no solo, atuando nas reações bioquímicas, como solubilização, mineralização e imobilização de P (RICHARDSON; SIMPSON, 2011; DA SILVA, 2023). Esses microrganismos mediam a mineralização de P orgânico através da P-hidrólise por enzimas, principalmente fitases e fosfatases que catalisam a hidrólise de ligações P-éster. Além disso, a secreção de ácidos orgânicos (ou seja, ácido oxálico, ácido láctico, ácido cítrico e succínico), bem como ácido fosfatase estão

altamente ligados à solubilização de diferentes compostos de P, como P tricálcico, P rocha e P alumínio (SWETHA; PADMAVATHI, 2016; apud por DA SILVA, 2023).

Microrganismos, como rizobactérias e fungos associativos, são usados como inoculantes para aumentar a disponibilidade de fósforo (P) para as plantas, solubilizando fosfatos inorgânicos e mineralizando fosfatos orgânicos (RICHARDSON, 2001). Este processo promove o crescimento das plantas ao aumentar a biomassa e o teor de P (BASHAN; HOLGUIN; DE-BASHAN, 2004). Além disso, as rizobactérias melhoram a eficiência das fontes solúveis de P e estimulam o crescimento radicular, o que aumenta a absorção de P e a exploração do solo. Portanto, o uso de rizobactérias como inoculantes biológicos é uma estratégia promissora para aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável (HUNGRIA; CAMPOS; MENDES, 2001; NAIMAN; LATRÓNICO; DE SALAMONE, 2009). Estudos destacam os gêneros *Pseudomonas* e *Bacillus*, assim como fungos como Micorrizas e *Aspergillus*, por seu potencial na solubilização de fosfatos (CHAVES; ZUCARELLI; DE OLIVEIRA JUNIOR, 2013; SOUSA; JUNIOR; JOSÉ, 2016).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e características climáticas da área

O experimento foi conduzido na safra 2023/2024, no município de Colorado, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. As coordenadas geográficas aproximadas da área são 28°31'38"S de latitude e 53°01'59"O de longitude (Figura 1).

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é temperado subtropical úmido, com estações bem definidas, com precipitação média anual de 2.200 mm, temperatura média anual de 28 °C. A área está a uma altitude média de 416 metros acima do nível do mar, com variações que vão de 390 metros nos pontos mais baixos a 453 metros nos pontos mais altos.

Figura 1 - Imagem de satélite da área de condução do experimento. Colorado - RS, 2024.



Fonte: Google Earth, 2023.

2.2.2 Análise de solo

Na área onde o solo foi coletado para o experimento, a amostragem foi conduzida até uma profundidade de 0 a 20 cm. Os resultados das análises químicas realizadas estão detalhados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Resultados das análises química e física de solo coletado, na camada de 0 a 20 cm. Colorado – RS (2023).

MACRONUTRIENTES						
pH (H ₂ O)	P	K	Ca	Mg	H+Al	MO
		mg/dm ³		cmolc/dm ³		% (m/v)
5,92	11	148	8,69	3,73	2,69	3,1
MICRONUTRIENTES						
	Zn	Cu	Mn	Fe	B	S
			mg/dm ³			
	5,58	4,64	166	--	0,51	7,7
S (soma de bases)	T (CTC pH 7)	V (Saturação de bases)	Saturação por elementos			
cmolc/dm ³		%	Ca	Mg	K	H
12,79	15,49	82,69	56,10	24,08	2,44	17,37
	Relação		Argila			
	(Ca + Mg)/K		%(m/v)			
	2,33	32,81	52			

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

2.2.3 Delineamento experimental

O delineamento utilizado no experimento foi de blocos casualizados (DBC) com 4 tratamentos e 4 repetições, totalizando 16 parcelas. Os tratamentos foram constituídos por diferentes inoculantes, aplicados no sulco de semeadura (Tabela 2). É importante mencionar que o tratamento 3 composto por NPKbio ainda está em fases de teste, portanto não é ainda um produto comercial.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Descrição	Composição	Dose (mL/g.ha ⁻¹)
T1	Testemunha	--	-
T2	BioFree	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	300
T3	NPKbio	<i>Paenibacillus azotofixans</i> + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>B. licheniformis</i> + <i>B. circulans</i>	300
T4	Acc Max + Grap Nod L+	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> e <i>B. pumilus</i> + <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	200 + 420

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os inoculantes BioFree e NPKbio utilizados nas áreas experimentais, foram cedidos pela empresa BIOTROP Soluções em Tecnologia Biológica LTDA. Sendo o produto BioFree composto pelas seguintes bactérias: *Azospirillum brasilense*, Cepa Ab-V6 e *Pseudomonas fluorescens*, Cepa CCTB03, Garantia: 1×10^8 UFC.mL⁻¹ (Unidades Formadoras de Colônias); Natureza física: líquido; Cultura à que se destina: soja (*Glycine max* L.); Fabricação: 27/01/2023 e Validade: 27/01/2025.

Já o produto NPKbio PTEST167, é composto pelos microrganismos *P.azotofixans* + *B.subtilis* + *B.licheniformis* + *B.circulans*; Lote CWBINFO 25923, Natureza física: líquido; Cultura à que se destina: soja (*Glycine max* L.);

Para o tratamento 4 foram utilizados os mesmos em todo restante da área do produtor, os quais são: Acc Max que é um inoculante contendo *Bacillus amyloliquefaciens*; Cepa CCTB09, *Bacillus pumilus*, cepa CCTB05 e *Bacillus subtilis*, cepa CCTB04. Garantia: 1×10^{11} UFC/ L (Unidades Formadoras de Colônias); Natureza física: líquido; Cultura à que se destina: soja (*Glycine max* L.); o qual foi utilizado em conjunto com Grap Nod L+, um inoculante líquido composto de uma cultura pura de bactérias; Composição: *Bradyrhizobium japonicum*; Cepas: SEMIA 5079 e SEMIA 5080; Garantia: 7×10^9 UFC.mL⁻¹. Natureza física: líquido.

Cada parcela experimental foi implantada com dimensões específicas: 13 linhas com espaçamento de 0,45 metros entre linhas, cobrindo um comprimento de 6 metros, totalizando uma área de 35,1 metros quadrados por parcela. A área colhida

dentro de cada parcela consistiu em uma faixa central de 6 linhas, com espaçamento de 0,45 metros entre as linhas e um comprimento de 3 metros, totalizando 8,1 metros quadrados (Figura 2).

Figura 2 - Vista aérea da área do experimento. Colorado - RS, 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No processo de acompanhamento do experimento também se fez uso do Canopeo um aplicativo mobile desenvolvido na Universidade de Oklahoma para sistemas Android e IOS, que vem sendo considerado uma boa ferramenta para estimar valores da biomassa de cobertura vegetal (SILVA JOÁS, 2022). O Canopeo é uma ferramenta que possibilita a análise dos pixels utilizando o sistema Red-Green-Blue (RGB) (PATRIGNANI; OCHSNER, 2015 apud SILVA JOÁS, 2022) e estima a cobertura verde do dossel, onde foram coletadas duas imagens de cada parcela.

2.2.4 Implantação e condução do experimento

O manejo de plantas daninhas em pré-semeadura da área a ser cultivada, ocorreu utilizando o herbicida, com ação de maturação fisiológica sobre a cultura do trigo, a qual estava instalada na área, com o produtor comercial Finale (Glufosinato de Amônia), na dose de 2 L.ha⁻¹, juntamente com óleo vegetal Aureo na dose de 0,5

L.ha⁻¹. Posterior a colheita do trigo, a lavoura encontrava-se livre de infestação de plantas daninhas, assim possibilitando condições para se fazer a semeadura da cultura.

A semeadura ocorreu no dia 26 de novembro de 2023 e a cultivar utilizada foi a BMX ZEUS 55I57 RSF IPRO, com ciclo médio de 128 dias, pertencente ao grupo de maturação 5.5 e hábito de crescimento indeterminado. Com densidade de semeadura de 15 sementes por metro linear utilizando a semeadora John Deere 1113 com sistema à vácuo (Figura 3).

Figura 3 - Vista geral da semeadura do experimento. Colorado - RS, 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As sementes foram previamente tratadas com fungicida Maxin XL (metalaxil-m + fludioxinil) na dose de 1,5 mL.kg⁻¹, inseticida Start (fipronil) na dose de 2 mL.kg⁻¹ e fertilizante líquido bioestimulante Yara Vita Raiz (Co + Mo + aminoácidos) na dose de 2 mL.Kg⁻¹, todas as parcelas receberam o mesmo tratamento de sementes (Figura 4 - A).

Primeiramente, na adubação de base, foi aplicado 250 kg.ha⁻¹ do Fertilizante Mosaic Performa Plus 8.37.11 + 5S diretamente na linha de semeadura (Figura 4-B)

Foi realizada uma adubação de cobertura como aplicação de 150 kg.ha^{-1} do Fertilizante Cloreto de Potássio 00.00.60.

Figura 4 – Abastecimento de sementes tratadas (A) e Abastecimento do Fertilizante (B) para o experimento. Colorado - RS, 2023.

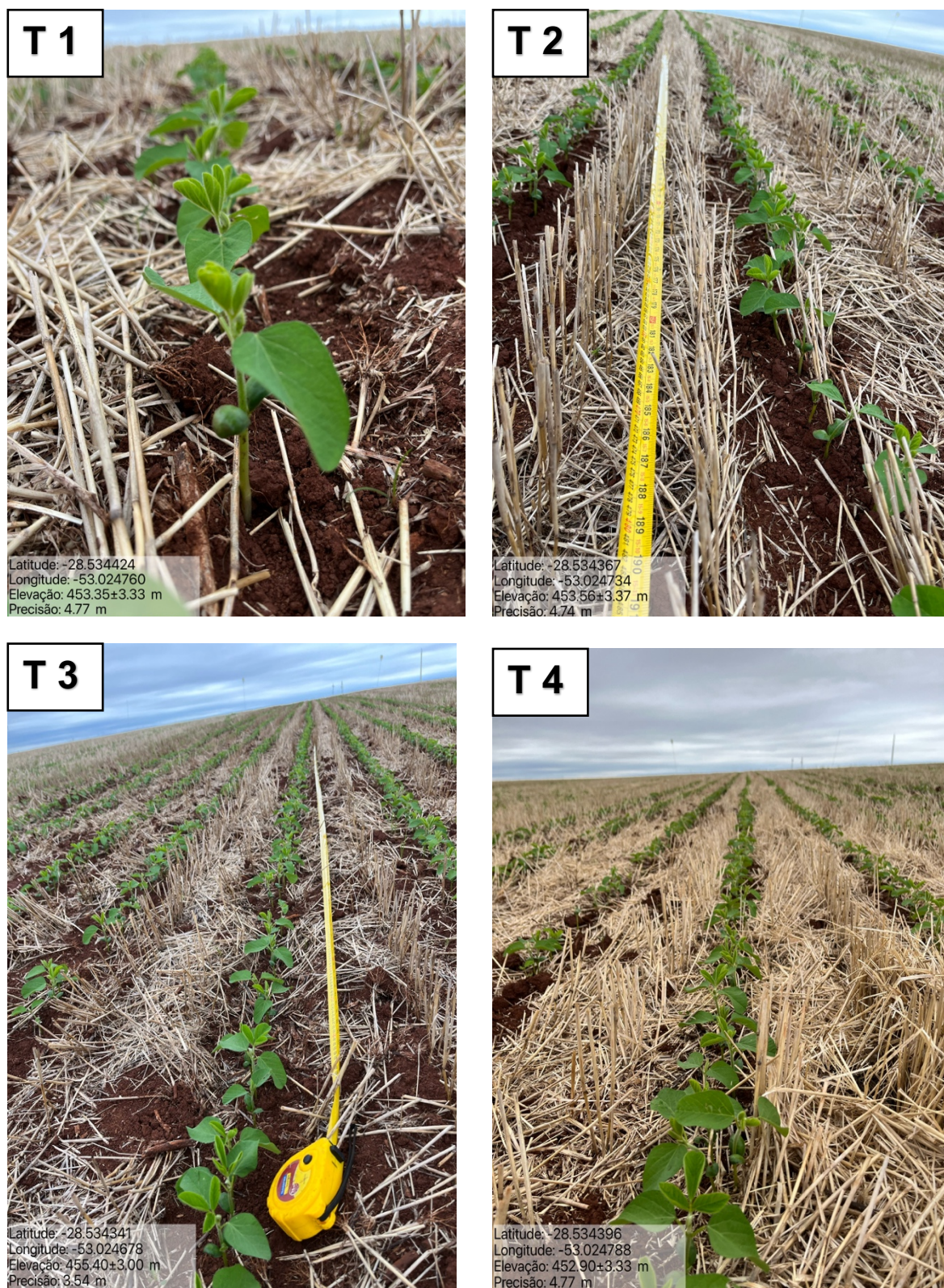


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a condução do experimento, a aplicação dos tratamentos via sulco de semeadura foi realizada, utilizando uma vazão média de 50 litros de calda por hectare, por meio de jato dirigido. Para isso, foi empregado o equipamento Micron Combat GT310, garantindo uma distribuição uniforme e eficaz dos produtos ao longo das linhas de semeadura.

Aos 12 dias após a semeadura (DAS), foi realizada a contagem da população de plantas (PP), contando-se a quantidade de plantas emergidas em um metro linear, para isto foram avaliadas as 6 linhas centrais de cada parcela (Figura 5).

Figura 5 – Acompanhamento do estabelecimento de plantas emergidas do experimento. Colorado - RS, 2023.



*Tratamento 1: Testemunha; Tratamento 2: BioFree; Tratamento 3: NPKbio e Tratamento 4: Accmax + Grap Nod L+. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Já para a contagem do número de legumes por planta (NL) foi realizada considerando apenas os legumes que continham grãos. Para determinar o número de grãos por legume, contou-se o número de grãos em cada legume com 4, 3, 2 e 1 grãos (Figura 6).

Figura 6 – Contagem do número de legumes por planta, número de grãos com 4,3,2,1 grãos por legume. Colorado - RS, 2024.

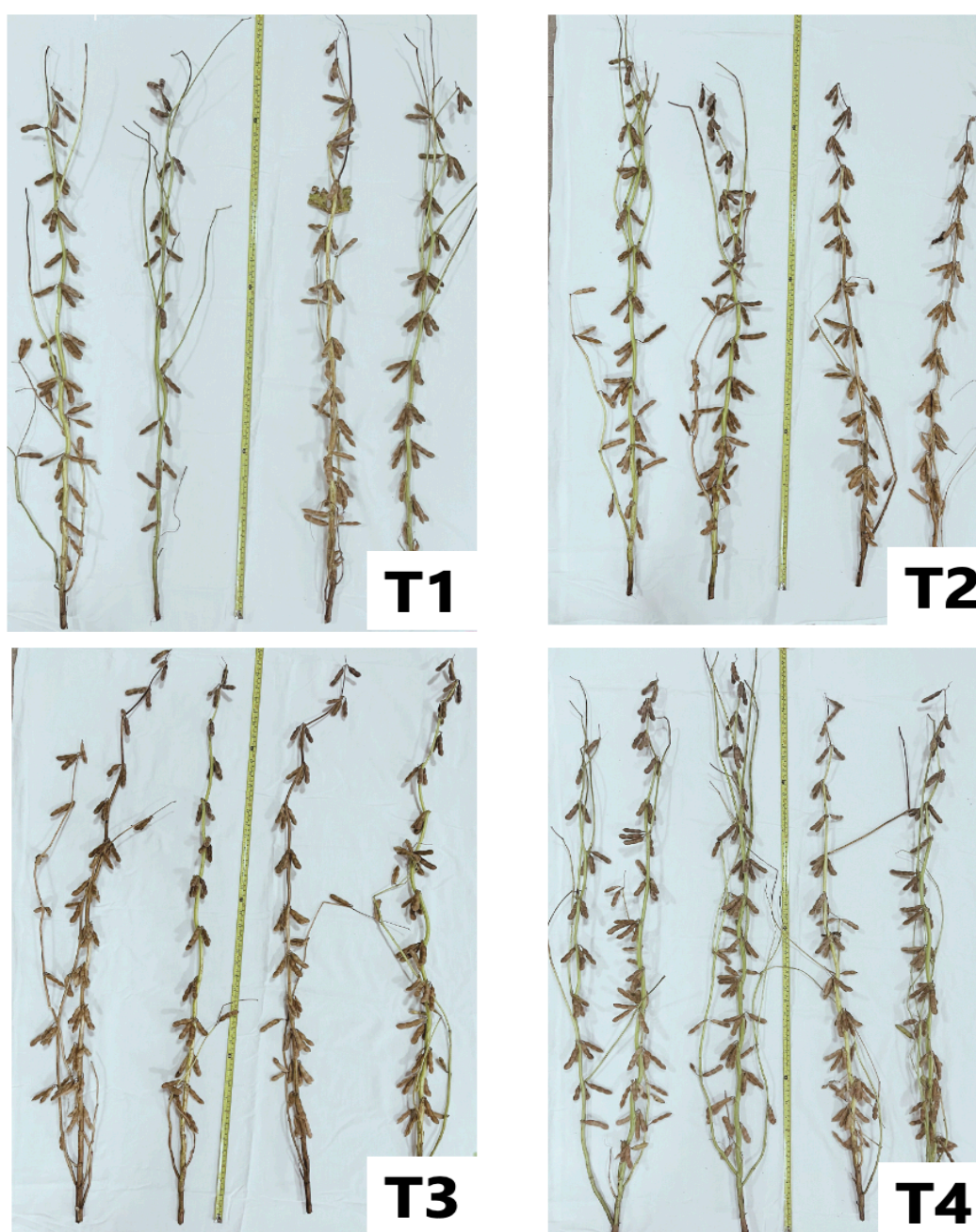


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A massa de mil sementes (MMS) foi obtida seguindo a metodologia preconizada pela Regra de Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009), onde oito repetições de 100 sementes foram contadas e pesadas em uma balança de precisão.

Posteriormente, procedeu-se à medição da altura das plantas (ALT) com o auxílio de uma trena (Figura 7). A altura foi medida do nível do solo até a extremidade da haste principal, com quatro plantas por parcela sendo avaliadas e a média obtida expressa em centímetros.

Figura 7 – Avaliação da altura de plantas (centímetros). Colorado - RS, 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Após a colheita da área delimitada as plantas foram trilhadas, limpas e pesadas. O peso resultante obtido de cada parcela foi então extrapolado para estimar a produtividade por hectare. Este valor foi corrigido para uma umidade de 14%, seguindo o que é utilizado pelas empresas da região que fazem descontos a partir de 14% de umidade.

A colheita foi realizada 123 dias após a semeadura, momento em que os legumes exibiam a coloração característica da maturação fisiológica. Este processo foi conduzido de forma manual, assegurando cuidado e precisão na colheita.

2.2.5 Manejo fitossanitário do experimento

Imediatamente posterior a semeadura da cultura, foi utilizado na área o herbicida pré-emergente Alia (Sulfentrazone) na dose de 0,5 L.ha⁻¹, considerando o histórico da área e a presença da planta daninha Leiteira (*Euphorbia heterophylla*).

No estágio V2 da cultura da soja, foi realizado o manejo de plantas daninhas emergidas como trigo voluntário (*Triticum aestivum*), picão-preto (*Bidens pillosa*), e leiteira (*Euphorbia heterophylla*). Para tal foi utilizado o produto comercial Roundup WG (glifosato), na dose de 1,5 kg.ha⁻¹, juntamente com o produto da Progen Detox da Timac Agro na dose de 0,4 L.ha⁻¹, buscando neutralizar efeito de fitotoxicidade causada pelo glifosato na cultura da soja. Aplicação realizada no dia 17/12/2024.

Durante o ciclo da cultura foram utilizados manejos fúngicos de forma preventiva e/ou curativa para manejar e prevenir doenças foliares como a ferrugem da soja (*Phakospora pachyrhizi*), a qual se mostrou muito intensa na safra em questão, também foi possível identificar outras doenças foliares como manchas foliares, principalmente crestamento foliar (*Cercospora kikuchii*), mancha parda (*Septoria glycines*) e crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *Glycinea*).

Para tal manejo preventivo e/ou curativo os produtos utilizados foram, em V3/V4 o produto comercial Nativo (Trifloxistrobina + Tebuconazol), na dose de 0,5 L.ha⁻¹, juntamente com o Indutor de resistência Phyto Dunger (fonte de Ácido Jasmônico e Salicílico) na dose de 0,1 L.ha⁻¹, juntamente com o fertilizante Foliar Quimifol CoMo Plus 250 (fonte de Co + Mo) na dose de 0,1 L.ha⁻¹. Juntamente a esta aplicação devido a presença de vaquinha da soja (*Diabrotica speciosa*), foi utilizado o

produto comercial Karate Zeon 250 (Lamba-Cialotrina) na dose de 0,1 L.ha⁻¹. Aplicação realizada no dia 24/12/2024.

No pré-fechamento de linhas (dia 08/01/2024), foi realizado novo manejo com os fungicidas Bravonil 720 (Clorotalonil) na dose de 1 L.ha⁻¹, Fox XPro (Bixafem + Protioconazol + Trifloxistrobina) na dose de 0,5 L.ha⁻¹, Indutor de resistência Phyto Dunger (Ácidos Jasmônico e Salicílico) na dose se 0,1 L.ha⁻¹, além do inseticida Premio (Clorantraniliprole) dose de 0,05 L.ha⁻¹, devido a constatação de lagartas desfolhadoras na área sob baixa infestação (lagartas do gênero *Spodoptera*).

No dia 25/01/2014, se fez nova entrada (Figura 9) na área com os fungicidas Unizeb Gold (Mancozeb) dose de 1,5 kg.ha⁻¹, Fox Supra (Impirfluxam + Protioconazole) dose de 0,35 L.ha⁻¹, o indutor de resistência Phyto Dunger (Ácidos Jasmônico e Salicílico) na dose de 0,1 L.ha⁻¹, além do inseticida Premio (Clorantraniliprole) dose de 0,05 L.ha⁻¹, de forma preventiva, além do inseticida Perito (Acefato) dose de 1 kg.ha⁻¹ devido a identificação de percevejo-marron (*Euchistus heros*) e percevejo barriga-verde (*Dichelops melacanthus*).

Figura 8 – Pulverização da área o experimento. Colorado - RS, 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em sequência, nova aplicação ocorreu no dia 11/02/2024 com os fungicidas Unizeb Gold (mancozeb) dose de $1,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Excalia Max (Impirfluxam + tebuconazol) dose de $0,5 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$, além de nova aplicação de inseticida Expedition (sulfoxaflor + lambda-cialotrina) dose de $0,3 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$, também visando o controle de percevejos (Figura 9).

Figura 9 – Estabelecimento geral da área do experimento. Colorado - RS, 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A última aplicação fitossanitária da área ocorreu no dia 28/02/2024, utilizando os fungicidas Nillus 500 (clorotalonil) dose de $1,5 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$ e Versatilis (fenpropimorfe) dose de $0,3 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$, assim encerrando os manejos de pragas e doenças da cultura.

Todas as aplicações foram acompanhadas pelo uso de óleo de soja a base de éster metílico, com nome comercial Aureo, dose de $0,25 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$, além do uso do adjuvante redutor de deriva Aquila, dose de $0,05 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$.

As aplicações aéreas acima descritas foram utilizadas por meio do equipamento autopropelido Gladiador 2.300, utilizando pontas de pulverização Teejet Turbo Twinjet (TTJ60) 110025VP, com vazão de 120 litros de calda por hectare.

2.2.6 Análise estatística

As médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a um nível de significância de 5%, por meio do programa computacional SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

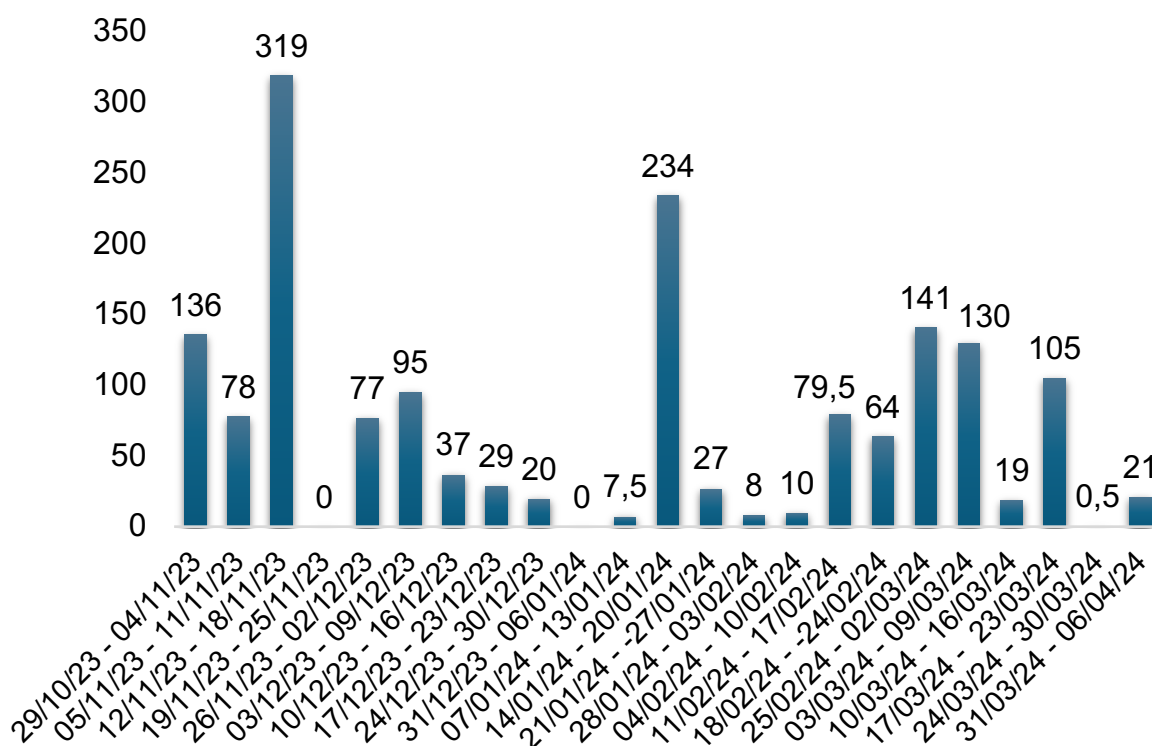
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a Conab (2024) os efeitos do fenômeno La Niña levaram a um atraso no começo da semeadura em algumas áreas do Brasil, incluindo a Região Sul.

Durante o início do mês de novembro o volume de chuvas foi baixo, portanto, a implantação da cultura ocorreu no final do mês de novembro quando os volumes pluviométricos normalizaram, para garantir um bom estabelecimento, visto que, conforme Farias et al. (2007) durante a germinação, tanto o excesso quanto a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura e à formação de um estande adequado de plantas. Os dados pluviométricos disponibilizados mostraram um valor de 1.104,5 mm acumulados durante o período em que a cultura esteve no campo, o que está além da faixa ideal de 450 a 800 mm por período de cultivo (ZANON, 2018).

Ainda no período em que a cultura esteve no campo, foi observado infestações por *Spodoptera* e *Rachiplusia nu*, e incidência de *Phakospora pachyrizi* que foram rapidamente controladas para que não comprometessem o bom desenvolvimento da cultura no campo.

Figura 10 – Dados pluviométricos (Precipitação, mm) a cada 7 dias durante o ciclo da cultura. Colorado, 2023/24.

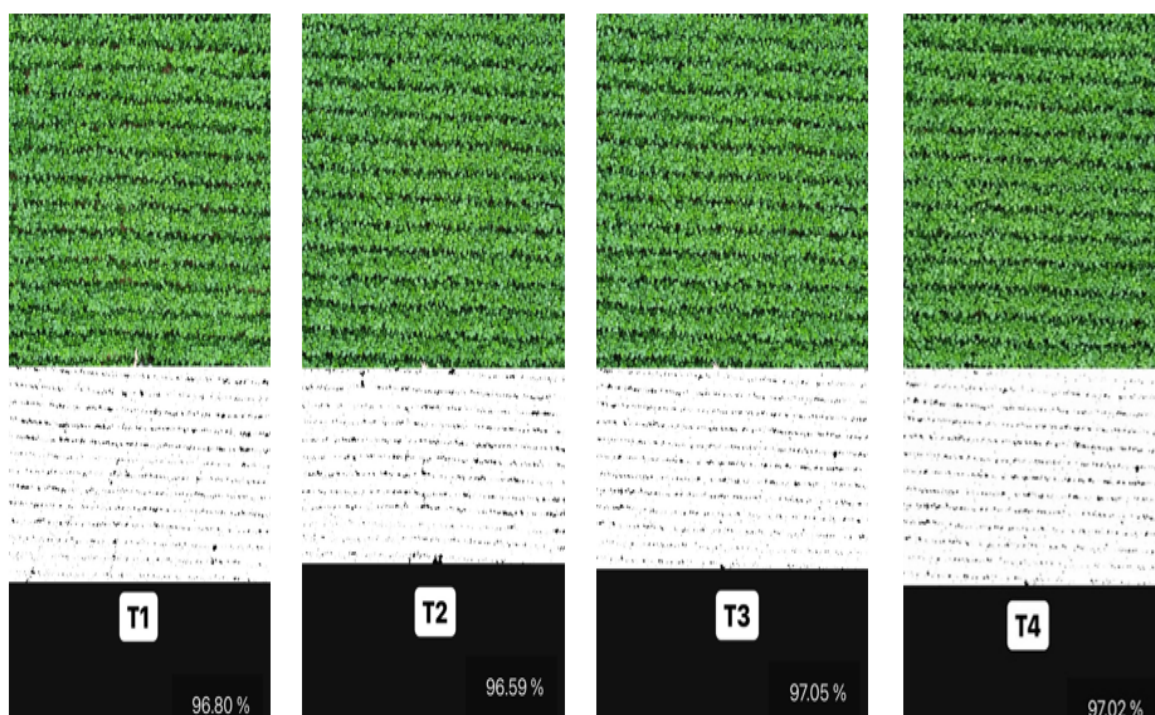


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Utilizando o aplicativo Canopeo foram coletadas duas imagens de cada parcela com o uso de smartphone com câmera do topo da vegetação em ponto representativo da condição média de cada parcela para estimativa da cobertura verde. O resultado dos quatro tratamentos aos 45 dias após semeadura (DAS) pode ser visualizado abaixo (Figura 11).

Cada imagem foi capturada a uma distância de aproximadamente 80 cm do topo da vegetação, seguindo as recomendações de uso do aplicativo (PATRIGNANI; OCHSNER, 2015, apud SILVA JOÁS, 2022) a coleta de dados foi realizada entre as 9:00 e 11:00am e todas as imagens foram coletadas sem uso do flash.

Figura 11 – Imagens aplicativo Canopeo® 45 dias após semeadura (DAS). Colorado-RS, 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na análise de cobertura verde (Figura 10), não foram observadas diferenças significativas entre as parcelas, a média para o tratamento T1 foi de 96,80%, T2 permaneceu 96,59% e T4 se manteve em 97,02. No entanto, o tratamento T3 (NPKbio) apresentou uma média ligeiramente superior, atingindo 97,05% de cobertura vegetal. Os dados vêm de encontro com (JÁUREGUI et al., 2019 apud SILVA JOÁS, 2022) considerando a praticidade das medidas com o uso de aplicativos e as

correlações encontradas, o Canopeo® se mostrou eficiente na determinação da taxa de cobertura verde.

A análise de variância revelou que os tratamentos tiveram um impacto significativo em várias medidas, incluindo altura das plantas, número de legumes, legumes com diferentes números de grãos e produtividade (Tabela 3). Os resultados indicaram que os inoculantes influenciaram de forma estatisticamente significativa a altura das plantas ($p = 0,0186$), o número de legumes com 1 grão ($p = 0,014$), legumes com 3 grãos ($p = 0,00$), o número de legumes por planta ($p = 0,00$), e a produtividade ($p = 0,002$). Por outro lado, não houve evidências de diferenças significativas nas populações de plantas ($p = 0,300$), legumes com 4 grãos ($p = 0,09$), legumes com 2 grãos ($p = 0,32$) e na massa de mil sementes ($p = 0,255$).

Os resultados sugerem que a escolha do inoculante pode ter um impacto substancial sobre o desempenho e rendimento das plantas, destacando a importância de selecionar adequadamente os tratamentos para otimizar a produção agrícola. Esses dados corroboram com Spaziani Pereira et al. (2022) que observaram diferenças significativas para as variáveis analisadas.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância, em função dos inoculantes para população de plantas, altura de plantas, número de legumes, legumes com 1, 2, 3 e 4 grãos, massa de mil sementes e produtividade. Colorado-RS, 2024.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios								
		PP	ALT	NL	1G	2G	3G	4G	MMS	PROD
Tratamentos	3	1,56	44,06	158,84	3,70	2,55	99,68	1,37	151,70	612623,21
Resíduo	12	1,14	8,93	5,89	0,69	2,00	0,78	0,51	98,62	41093,15
CV (%)		8,35	2,75	4,96	55,69	9,74	2,76	81,65	4,96	3,93
Fontes de variação	GL	Teste F								
		PP	ALT	NL	1G	2G	3G	4G	MMS	PROD
Tratamentos		0,300 ^{ns}	0,0186*	0,000*	0,014*	0,32 ^{ns}	0,00*	0,09 ^{ns}	0,255 ^{ns}	0,002*

PP: população de plantas. ALT: altura. NL: número de legumes; 1G: legumes com 1 grão. 2G: legumes com 2 grãos. 3G: legumes com 3 grãos. 4G: legumes com 4 grãos. MMS: Massa de mil sementes. PROD: produtividade. *significativo a 5% de probabilidade. Ns: não significativo. CV: coeficiente de variação. GL: graus de liberdade. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

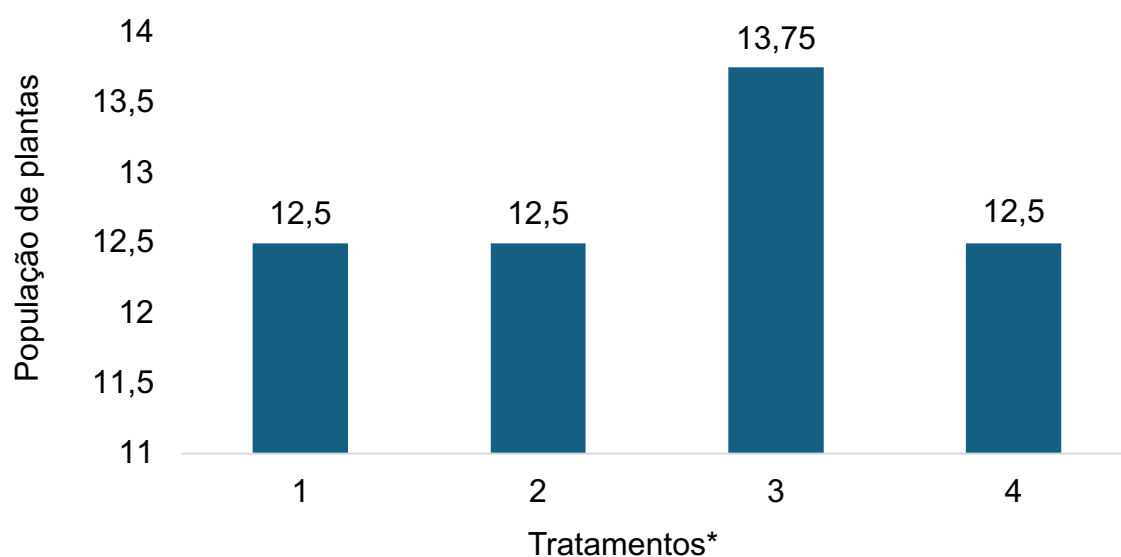
Na análise da população de plantas por metro linear (Figura 12), não foram observadas diferenças significativas, a média da população de plantas para os tratamentos T1, T2 e T4 foi consistente, permanecendo em 12,5 plantas por metro.

No entanto, o tratamento T3 (NPKbio) apresentou uma média ligeiramente superior, atingindo 13,75 plantas por metro.

A análise da população de plantas é um estágio significativo na avaliação das cultivares de soja. Isso é crucial para detectar falhas no plantio, corrigi-las e determinar a densidade de plantio adequada, que é vital para a produtividade da cultura. A densidade correta afeta diretamente o crescimento das plantas, o rendimento dos grãos e a uniformidade do stand, como observado por (BERTOLINO et al. 2022; CRUZ et al, 2016).

A falta de diferenças significativas em nossos resultados pode ser atribuída à uniformidade da qualidade das sementes entre os tratamentos, resultando em uma germinação consistente. A provável ausência de significância pode ser atribuída aos microrganismos já presentes no solo e ao fato de ter sido utilizado apenas um ciclo de cultivo. Recomenda-se a realização de experimentos que avaliem múltiplos períodos de cultivo da soja para uma análise mais robusta e conclusiva. Além disso, é essencial monitorar o stand de plantas para garantir um estabelecimento adequado da cultura, o que pode afetar diretamente a produtividade final.

Figura 12 – População de plantas (plantas por metro linear) em função dos inoculantes. Colorado - RS, 2024.

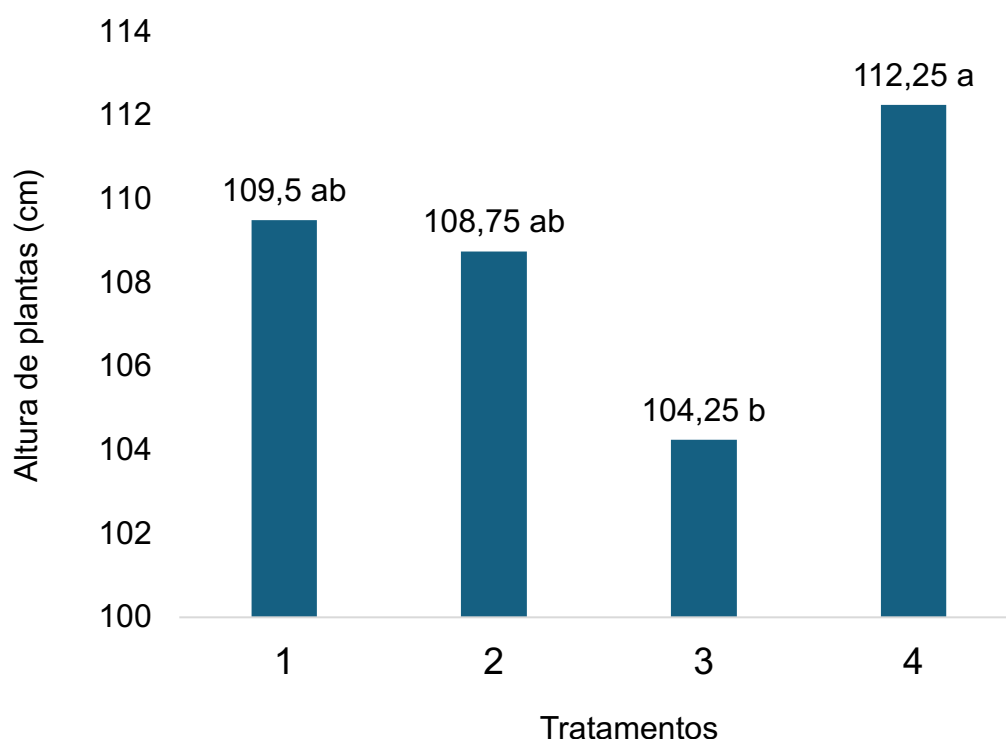


*Tratamento 1: Testemunha; Tratamento 2: BioFree; Tratamento 3: NPKbio e Tratamento 4: Accmax + Grap Nod L+. Coeficiente de variação: 8,35%. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No componente de referente a altura de plantas, foram observadas diferenças significativas (Figura 13). Os dados indicam que as médias de altura das plantas variaram entre os tratamentos, como evidenciado pelos valores médios de altura para cada tratamento: 109,7 para o tratamento 1, 108,75 cm para o tratamento 2, 104,25 para o tratamento 3 e 112,25 para o tratamento 4.

Junior et al. (2022) observaram que a inoculação com *Bacillus subtilis* promoveram a altura de plantas de soja de duas cultivares diferentes, corroborando com os dados deste experimento. As chamadas bactérias promotoras de crescimento vegetal atuam positivamente no crescimento e desenvolvimento das plantas por diversos mecanismos de ação, incluindo a síntese de fitohormônios (AHEMAD; KHAN, 2012), a absorção de alguns nutrientes (AHEMAD; KHAN, 2012; GLICK, 2012), ou mesmo o controle biológico de alguns patógenos (ZHANG et al., 2011; LING et al., 2011).

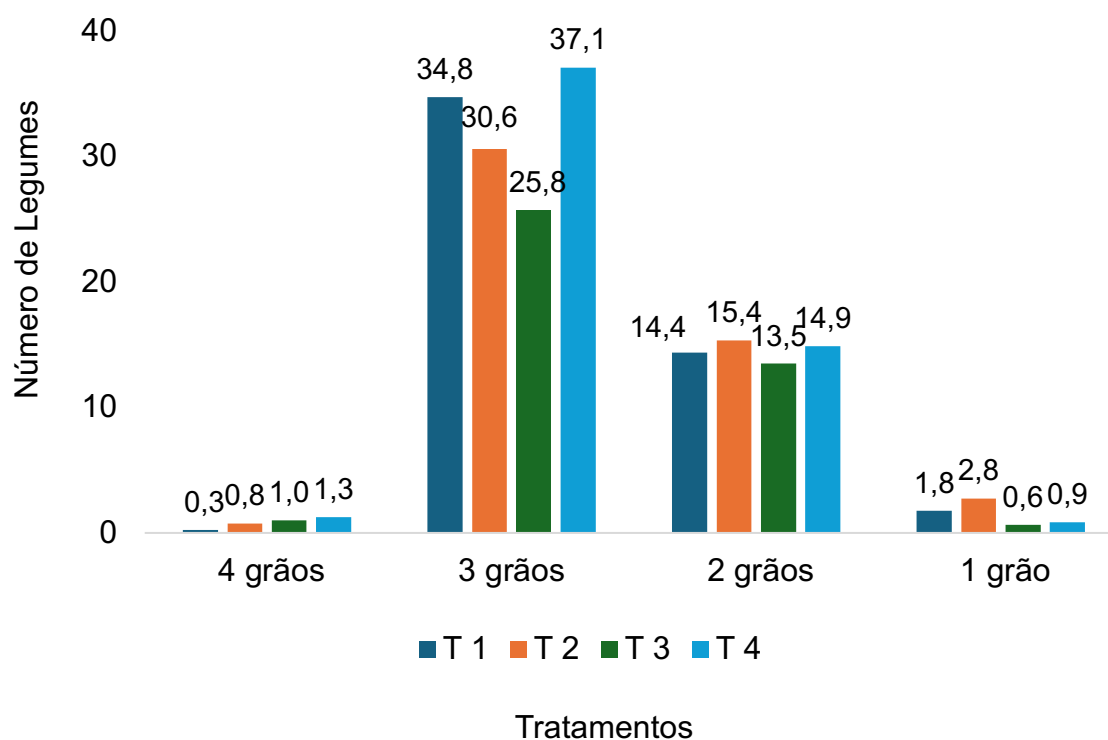
Figura 13 – Altura de plantas (centímetros) em função dos inoculantes.
Colorado - RS, 2024.



*Tratamento 1: Testemunha; Tratamento 2: BioFree; Tratamento 3: NPKbio e Tratamento 4: Accmax + Grap Nod L+. Coeficiente de variação: 2,75%. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para o número de grãos por legume, foram encontradas diferenças significativas para as categorias de 1 e 3 grãos (Figura 14), enquanto não houve diferença significativa na média de legumes com 2 e 4 grãos. O tratamento 2 (BioFree) registrou a maior média de legumes com 1 e 2 grãos, com médias de 2,80 e 15,40 legumes, respectivamente. Quanto aos legumes com 3 grãos, o tratamento 4 (Accmax + Grap Nod L+) apresentou a maior média, com 37,10 legumes.

Figura 14 – Número de grãos por legume em função dos inoculantes.
Colorado – RS, 2024.



*Tratamento 1: Testemunha; Tratamento 2: BioFree; Tratamento 3: NPKbio e Tratamento 4: Accmax + Grap Nod L+. Coeficiente de variação 1 grão por legume: 55,69%, 2 grãos por legume: 9,74%, 3 grãos por legume: 2,76, 4 grãos por legume: 81,65%. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas em alguns parâmetros, constatou-se que o tratamento com maior número médio de legumes com 4 grãos foi o Tratamento 4, que apresentou uma média de 1,3 legumes por planta. Barros et al. (2013) observaram que o tratamento inoculado e adubado não

apresentou diferenças estatisticamente significativas em comparação ao controle. Em contrapartida, Romanini Júnior et al. (2007) relata diferenças entre os tratamentos inoculados com estirpes de *Rhizobium tropici*, resultando em um aumento de 6% no número de grãos por legume. Esses resultados são consistentes com os resultados de Carvalho, Viecelli e De Almeida (2013), que afirmam que o uso de inoculantes é significativo para o aumento dos parâmetros de produção quando comparado ao controle sem inoculante.

Essa melhoria pode ser justificada por diversos mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio (FBN) os inoculantes frequentemente contêm bactérias do gênero *Rhizobium*, que formam uma simbiose com as raízes da soja. Essa simbiose permite que as plantas fixem nitrogênio atmosférico, tornando-o disponível para o crescimento. A FBN resulta em um aumento na biomassa e no rendimento de grãos, pois o nitrogênio é essencial para o desenvolvimento das plantas (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2015). Ainda sobre a solubilização de nutrientes alguns inoculantes têm a capacidade de solubilizar nutrientes essenciais, como fósforo e potássio sendo a solubilização do fósforo especialmente importante, pois esse nutriente é fundamental para a formação de flores e frutos. Com a maior disponibilidade de fósforo, as plantas podem produzir mais grãos por legumes, resultando em uma maior produtividade (PEREIRA; LEMOS, 2021).

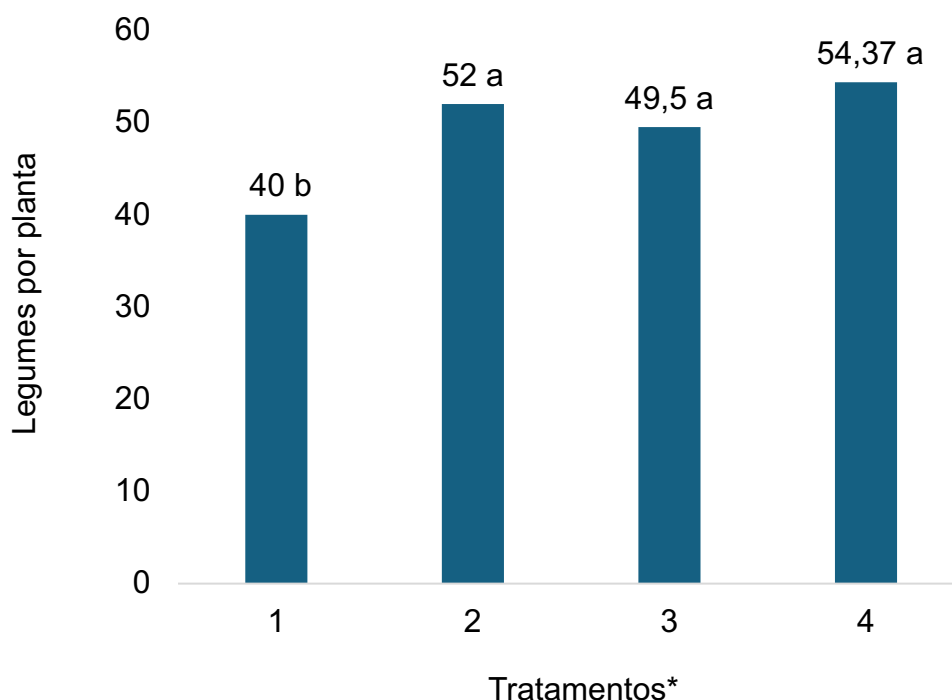
Em relação ao número de legumes por planta foi verificada diferença significativa (Figura 15). Houve um aumento no número de legumes conforme pode ser observado, o tratamento 4 (Accmax + Grap Nod L+) obteve maior média de legumes por planta com 54,37 em comparação com a testemunha.

A inoculação com *Bacillus* spp. pode favorecer o desenvolvimento da soja, principalmente no controle biológico de plantas, produção de antibióticos naturais e efeito protetor contra fitopatógenos secundários do solo (ARAÚJO; MARCHESI, 2009; KUHN; PASCHOLATI, 2010; PAVAN et al., 2011; GAGNÉ-BOURQUE et al., 2015; DU JARDIN, 2015), além do crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, e conseqüentemente maior absorção de água e nutrientes (GALINDO et al., 2018).

Os resultados estão em consonância com os achados de Braccini et al. (2016), os quais, em um estudo utilizando diferentes formulações de inoculantes na cultura da soja, constataram resultados mais favoráveis para o número de legumes por planta em plantas inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* por meio de uma formulação líquida. Reges et al. (2018), ao investigarem os efeitos de inoculantes líquidos e

turfosos sobre os aspectos produtivos da cultivar de soja FTS em Paragominas, também observaram melhorias no número de legumes o uso desse tipo de inoculante.

Figura 15 – Número de legumes por planta em função dos inoculantes.
Colorado – RS, 2024.

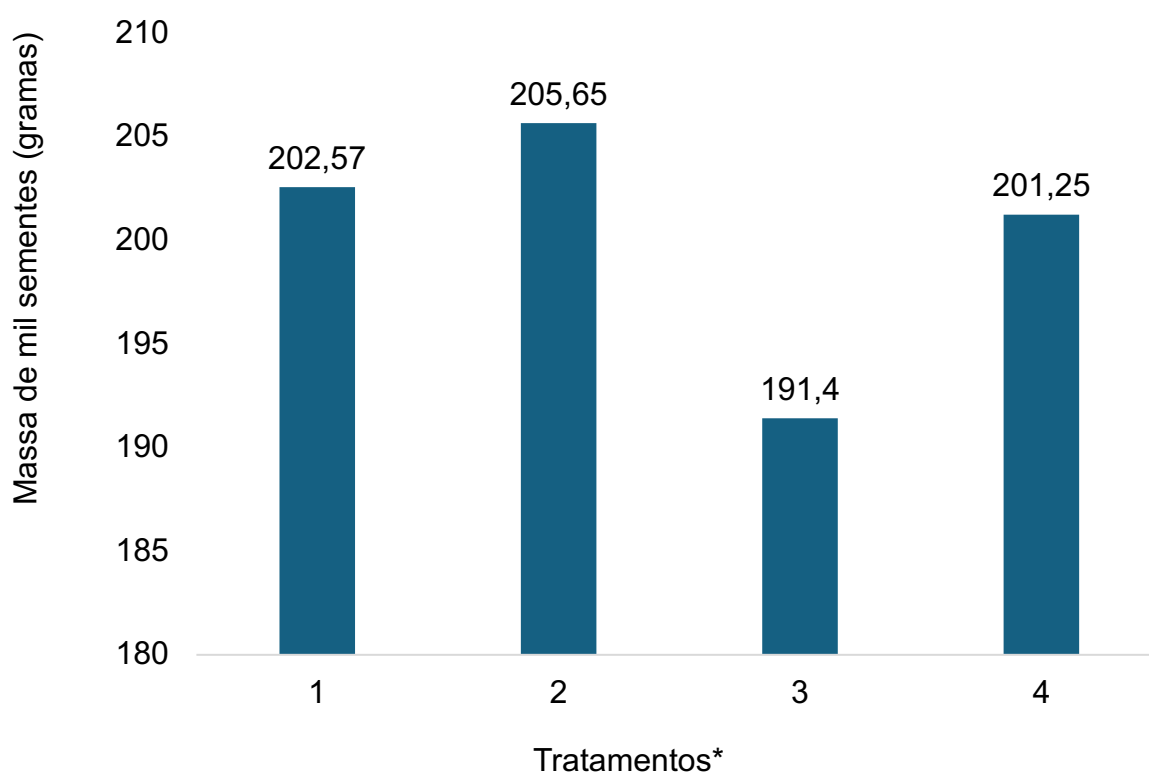


*Tratamento 1: Testemunha; Tratamento 2: BioFree; Tratamento 3: NPKbio e Tratamento 4: Accmax + Grap Nod L+. Coeficiente de variação: 4,96%. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em relação à massa de mil sementes (MMS) apresentada na (Figura 16), embora não tenha sido observada uma diferença estatística significativa, o inoculante BioFree apresentou uma média de 205,65 gramas. Esse resultado foi seguido pelos tratamentos 1 e 4, que mostraram médias de 202,57 e 201,25 gramas, respectivamente. Segundo a Brasmax Genética, a cultivar de soja Brasmax Zeus IPRO possui uma massa de mil sementes (MMS) de 209 gramas, as variações encontradas em campo em comparação com as médias esperadas podem ser atribuídas a fatores como temperatura, umidade, estresse hídrico, nutrição entre outros durante o ciclo de cultivo os quais tem um impacto significativo na formação dos grãos resultando em menor massa de grãos. Corroborando com os dados deste trabalho Bashan e Bashan (2004), citam o aumento da biomassa e os teores de P em

plantas é o principal indicativo do efeito da solubilização de fosfato que pode resultar em estímulo ao crescimento e desenvolvimento vegetal. A *P. fluorescens* pode ser considerada bactéria solubilizadoras de fosfato do solo, tanto orgânico quanto inorgânico. Conforme Nahas et al. (1994), estes microrganismos podem produzir algumas enzimas fosfatases que liberam íons fosfato de substâncias orgânicas das frações do solo. (GUIMARÃES, et al.,2021).

Figura 16 – Massa de mil sementes (gramas) em função dos inoculantes.
Colorado – RS, 2024.

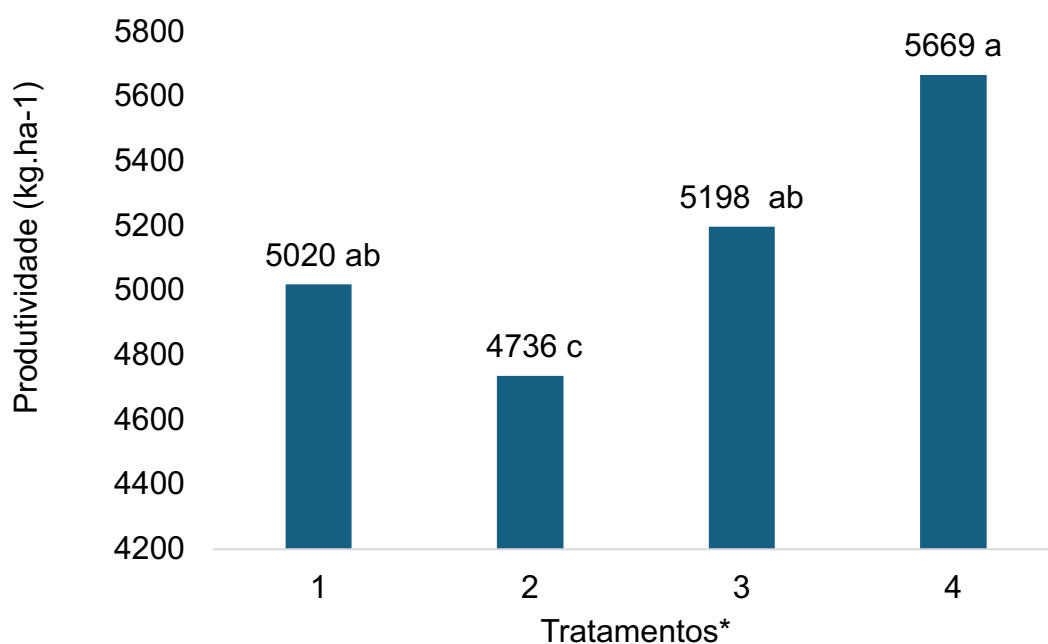


*Tratamento 1: Testemunha; Tratamento 2: BioFree; Tratamento 3: NPKbio e Tratamento 4: Accmax + Grap Nod L+. ** não significativo. Coeficiente de variação: 4,96%. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A produtividade da soja oscilou entre 4736 Kg.ha⁻¹ e 5669 Kg.ha⁻¹, havendo diferença de 19,7% entre o tratamento com maior produtividade (T4) e menor produtividade (T2) (Figura 17). Em um estudo realizado por Bárbaro et al. (2009), foi constatado que o inoculante *Bradyrhizobium* desempenhou um papel significativo na interação entre rizóbios e leguminosas, resultando em uma maior produtividade da

soja e no crescimento das plantas. Pardinho e Primieri (2015) corroboram que houve aumento da produtividade da soja inoculada em relação da testemunha.

Figura 17 – Produtividade de plantas ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de soja em função dos inoculantes. Colorado – RS.



*Tratamento 1: Testemunha; Tratamento 2: BioFree; Tratamento 3: NPKbio e Tratamento 4: Accmax + Grap Nod L+. Coeficiente de variação: 3,93%. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Assim, a inoculação revelou-se uma prática tecnicamente viável. Neste estudo, observou-se uma produtividade de grãos significativamente maior, com um aumento de cerca de 19,7% no tratamento (T4) em comparação com o tratamento 2. O *Bradyrhizobium japonicum* é uma bactéria essencial para a soja, pois realiza a fixação biológica de nitrogênio (FBN) essa capacidade permite que uma planta converta o nitrogênio atmosférico em formas utilizáveis contribuindo para uma agricultura mais sustentável e econômica. Uma interação simbiótica entre a soja e *Bradyrhizobium japonicum*, resulta em um aumento significativo na produtividade, pois a planta pode acessar o nitrogênio necessário para seu crescimento e desenvolvimento (EMBRAPA, 2005; HUNGRIA, NOGUEIRA, ARAUJO, 2013).

Apesar da presença de *Bradyrhizobium japonicum* no solo após inoculações anteriores, estudos demonstram que a reinoculação é fundamental para manter a eficácia do FBN. Isso se deve ao fato de que, ao longo do tempo, uma população de rizóbios pode diminuir, seja por fatores ambientais, como seca e salinidade, seja por competições com outras bactérias do solo. A reinoculação garante uma população saudável e ativa de *Bradyrhizobium japonicum* essencial para uma nodulação eficiente e, conseqüentemente, para a otimização da FBN em áreas cultivadas com soja (EMBRAPA, 2005; HUNGRIA; NOGUEIRA, ARAUJO, 2013).

O presente estudo destacou a importância do uso de inoculantes bacterianos como estratégia sustentável para otimizar a produtividade da soja, uma das culturas mais relevantes no cenário agrícola brasileiro e global. Ao avaliar diferentes tratamentos envolvendo bactérias fixadoras de nitrogênio e promotoras de crescimento aplicadas no sulco de semeadura, evidenciou-se o impacto positivo dessas tecnologias em parâmetros cruciais como altura das plantas, número de legumes por planta e produtividade final.

3 CONCLUSÃO

Em resposta ao objetivo principal deste estudo os tratamentos demonstraram impacto significativo na altura das plantas, número de legumes por planta, número de legumes com 1 grão, legumes com 3 grãos e produtividade da soja, sendo o tratamento Accmax + Grap Nod L+ (T4) destacado por apresentar maior altura de plantas e maior produtividade, havendo diferença de 19,7% entre o tratamento com maior produtividade (T4) e menor produtividade (T2).

Os resultados obtidos reforçam a viabilidade de práticas agrícolas baseadas em inoculantes, não apenas pela sua eficiência em melhorar a performance agrônômica das plantas, mas também pela sua contribuição para a sustentabilidade do sistema produtivo, reduzindo a dependência de insumos químicos e promovendo um manejo mais integrado e resiliente.

A utilização de biofertilizantes e inoculantes é uma abordagem que alinha inovação tecnológica com responsabilidade ambiental, endossando a necessidade de práticas agrícolas que atendam às demandas por maior produtividade sem comprometer os recursos naturais. Este trabalho contribui para a disseminação de conhecimentos que podem embasar futuras decisões técnicas e de manejo, fortalecendo a competitividade do agronegócio brasileiro no mercado global.

Por fim, os achados deste estudo abrem espaço para novas pesquisas que aprofundem o entendimento sobre os mecanismos de interação entre as bactérias e o solo, buscando explorar ao máximo o potencial desses microrganismos na promoção do crescimento vegetal. Assim, espera-se que estas soluções continuem a impulsionar a agricultura em direção a um futuro mais eficiente, sustentável e inovador.

REFERÊNCIAS

- AHEMAD, Munees; KHAN, Mohammad Saghir. **Avaliação das atividades promotoras do crescimento de plantas de rizobactéria *Pseudomonas putida* sob estresse herbicida.** Anais de microbiologia, v. 62, p. 1531-1540, 2012.
- ALIYEV, Jalal A.; MIRZOYEV, Rufat S. **Fotossíntese e produtividade da soja [*Glycine max* (L.) Merr.].** Proc ANAS, v. 65, n. 5-6, p. 60-70, 2010.
- ALVES, Bruno José Rodrigues; BODDEY, Robert M.; URQUIAGA, Segundo. **O sucesso da fixação biológica de nitrogênio na soja no Brasil.** Plant and Soil, v. 252, n. 1, p. 1-9, 2003. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24128544>. Acesso em: 08 abr. 2024.
- ALVES, Bruno José Rodrigues et al. **Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, p. 449-456, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/FZzMsst5vJqmmfJvt9WPDLk/>. Acesso em: 08 abr. 2024.
- ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira de et al. **Coinoculação rizóbio e *Bacillus subtilis* em feijão-caupi e leucena: efeito sobre a nodulação, a fixação de N₂ e o crescimento das plantas.** Ciência rural, v. 40, p. 182-185, 2010.
- ARAÚJO, Fabio Fernando de; MARCHESI, Gabriel Victor Poletto. **Uso de *Bacillus subtilis* no controle da meloidoginose e na promoção do crescimento do tomateiro.** Ciência Rural, v. 39, p. 1558-1561, 2009.
- ATIENO, Mary et al. **Eficiência de diferentes formulações de *Bradyrhizobium japonicum* e efeito da co-inoculação de *Bacillus subtilis* com duas diferentes cepas de *Bradyrhizobium japonicum*.** Revista Mundial de Microbiologia e Biotecnologia, v. 28, p. 2541-2550, 2012.
- BÁRBARO, Ivana Marino et al. **Produtividade da soja em resposta á inoculação padrão e co-inoculação.** In: Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215. 2009. p. 01-07. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ebaabf19-df53-4c85-a3e2-2103617a703c/content>. Acesso em 20 abr. 2024.
- BARBARO, T. M et al. **Interação entre densidade de semeadura e diferentes inoculantes no desempenho simbiótico e agrônômico da soja.** Tanabi- SP, 2019.
- BARROS, Rodrigo Luiz Neves et al. **Interação entre inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada de plantio na produtividade do feijoeiro nas épocas da seca e das águas.** Semina: Ciências Agrárias, v. 34, n. 4, p. 1443-1450, 2013.
- BASHAN, Yoav; HOLGUIN, Gina; DE-BASHAN, Luz E. **Relações Azospirillum-planta: avanços fisiológicos, moleculares, agrícolas e ambientais (1997-2003).** Jornal canadense de microbiologia, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/cndscipub/cjm/2004/00000050/00000008/art00003>. Acesso em: 20 mar. 2024.

BATSON, W. et al. **Avaliação de tratamentos biológicos de sementes para controle do complexo plântula do algodoeiro.** Biol. e Cult. Testes, v. 15, p. 31-32, 2000.

BERTOLINO, Karina Mendes et al. **Rendimento da soja em função da densidade de semeadura.** Revista de Ciências Agro-Ambientais, v. 20, n. 1, p. 01-08, 2022.

BOARD, Jim. **A eficiência de interceptação de luz e a qualidade da luz afetam a compensação da produtividade da soja em baixas populações de plantas.** Ciência da Cultura, v. 40, n. 5, p. 1285-1294, 2000.

BONANOMI, Giuliano et al. **Aplicações repetidas de aditivos orgânicos promovem a microbiota benéfica, melhoram a fertilidade do solo e aumentam o rendimento das culturas.** Ecologia do Solo Aplicada, v. 156, p. 103714, 2020.

BRACCINI, Alessandro Lucca et al. **Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja.** Scientia Agraria Paranaensis, p. 27-35, 2016. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/10565>. Acesso em 20 mar. 2024.

BRAGA JUNIOR, G. M. et al. **Promoção do crescimento da soja e solubilização de fosfato por linhagens de *Bacillus subtilis* em casa de vegetação.** Revista Internacional de Pesquisa Atual, v. 9, n. 5, p. 50914-50918, 2017.

BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. **Aprova o regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 jan. 2004.

BRASIL. Regras para Análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, p. 147. 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/lfda/legislacao-metodos-da-rede-lfda/sementes-mudas/manual-de-sementes-site.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2024.

BRITO, Luciana F. et al. **Solubilização de fosfato inorgânico pela bactéria rizosférica *Paenibacillus sonchi*: expressão gênica e funções fisiológicas.** Fronteiras em microbiologia, v. 11, p. 588605, 2020.

BULLARD, G. K.; ROUGHLEY, R. J.; PULSFORD, D. J. **A indústria de inoculantes de leguminosas e o controle de qualidade de inoculantes na Austrália: 1953–2003.** Jornal Australiano de Agricultura Experimental, v. 45, n. 3, p. 127-140, 2005.

CAMPO, Rubens José et al. **Inoculação no sulco da soja como alternativa ao tratamento de sementes com fungicidas e micronutrientes.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 1103-1112, 2010.

CARVALHO, Jeferson Carlos; VIECELLI, Clair Aparecida; DE ALMEIDA, Diones Kotta. **Produtividade e desenvolvimento da cultura da soja pelo uso de regulador vegetal**. Acta Iguazu, v. 2, n. 1, p. 50-60, 2013.

CASSÁN, Fabricio Dario; OKON, Yaacov; CREUS, Cecilia M. **Manual para *Azospirillum***. Springer, Basileia. doi, v. 10, p. 978-3, 2015.

CEREZINI, Paula et al. **Estratégias para promover a nodulação precoce em soja sob seca**. Pesquisa de culturas de campo, v. 196, p. 160-167, 2016.

CHANG, Woo-Suk; LEE, Hae-In; HUNGRIA, Mariangela. **Produção de soja nas Américas. Princípios de interações planta-micróbio: Micróbios para agricultura sustentável**, p. 393-400, 2015.

CHAVES, Danilo Pinceli; ZUCARELI, Claudemir; DE OLIVEIRA JUNIOR, Adilson. **Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho**. Semina: Ciências Agrárias, v. 34, n. 1, p. 57-72, 2013.

CHIBEBA, Amaral Machaculeha et al. **A coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* promove nodulação precoce**. Revista Americana de Ciências Vegetais, [S. l.], v. 6, n. 10, p. 1641-1649, 2015.

CLEMENTE, Junia Maria et al. **Uso de *Bacillus* spp. como promotor de crescimento na cultura da cenoura**. Revista Africana de Pesquisa Agrícola, v. 11, n. 35, p. 3355-3359, 2016.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra de grãos 2023/2024 está estimada em 294,1 milhões de toneladas**. Disponível em: Conab - Safra de grãos 2023/2024 está estimada em 294,1 milhões de toneladas. Acesso em: 26/06/2024.

CÓRDOVA, S. Carolina et al. **Dinâmica de fixação de nitrogênio na soja em Iowa, EUA**. Pesquisa de culturas de campo, v. 236, p. 165-176, 2019.

COSTA, Elaine Martins da et al. **Promoção do crescimento vegetal e diversidade genética de bactérias isoladas de nódulos de feijão-caupi**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 48, p. 1275-1284, 2013.

CRUZ, Simério Carlos Silva et al. **Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos espaciais**. Revista de Agricultura Neotropical, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2016. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/431>. Acesso em: 4 abr de 2024.

DA MOTA, Fabio Faria et al. **Diversidade genética de populações de *Paenibacillus polymyxa* isoladas da rizosfera de quatro cultivares de milho (*Zea mays*) plantadas em solo de Cerrado**. Ecologia do Solo Aplicada, v. 20, n. 2, p. 119-132, 2002.

DA SILVA, EDDY. **O papel dos microrganismos solubilizadores de fósforo no manejo de sistemas integrados de Lavoura – Pecuária - Floresta**. INSTITUTO

FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO, [S. l.], p. 2-31, 4 abr. 2023. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/3678/1/TCC_Eddy%20da%20Silva.pdf. Acesso em: 29 jun. 2024.

DALL'AGNOL, Amélio et al. **O complexo agroindustrial da soja brasileira**. Circular Técnica. 2007.

DERETTI, André Felipe Hermann et al. **Resposta de cultivares de soja à redução na densidade de plantas no planalto norte catarinense**. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 21, n. 2, p. 123-136, 2022.

DINCĂ, Lucian Constantin et al. **Adubação e comunidade microbiana do solo: uma revisão**. Ciências Aplicadas, v. 12, n. 3, p. 1198, 2022.

DU JARDIN, Patrick. **Bioestimulantes vegetais: definição, conceito, principais categorias e regulamentação**. Scientia horticulturae, v. 196, p. 3-14, 2015.

EGAMBERDIEVA, Dilfuza et al. **A coordenação entre *Bradyrhizobium* e *Pseudomonas* alivia o estresse salino na soja por meio da alteração da arquitetura do sistema radicular**. Journal of Plant Interactions, v. 12, n. 1, p. 100-107, 2017.

EID, Ahmed M. et al. **Aproveitamento de endófitos bacterianos para promoção do crescimento de plantas e aplicações biotecnológicas: uma visão geral**. Plants, v. 10, n. 5, p. 935, 2021. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8151188/>. Acesso em 20 abr. 2024.

EMBRAPA. **Soja em números**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 20 abr. 2024.

FAGAN, Evandro Binotto et al. **Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja-Revisão**. Revista da FZVA, v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007.

FARIAS, Fernanda. **Agroconsult revisa safra de soja 23/24 para 156,2 milhões de toneladas**. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/economia/agroconsult-revisa-safra-de-soja-23-24-para-1562-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 10/6/2024.

FERREIRA, Daniel Furtado. **SISVAR: Um sistema de análise computacional para projetos de tipo de parcela dividida de efeitos fixos**. Revista Brasileira de Biometria, v. 4, pág. 529-535, 2019. Disponível em: <https://des.ufla.br/~danielfff/programas/sisvar.html>. Acesso em: 20/05/2024.

FREITAS, Márcio. **A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola**. Enciclopédia Biosfera, v. 7, n. 12, 2011.

FUKAMI, Josiane et al. **Acesso a métodos de inoculação de milho e trigo com *Azospirillum brasilense***. Amb Express, v. 6, p. 1-13, 2016.

GAGNÉ-BOURQUE, François et al. **Taxa de crescimento acelerada e aumento da resiliência ao estresse hídrico da gramínea modelo *Brachypodium distachyon* colonizada por *Bacillus subtilis* B26.** Plos um, v. 10, n. 6, p. e0130456, 2015.

GALINDO, Fernando S. et al. **Viabilidade técnica e econômica da coinoculação com *Azospirillum brasilense* em cultivares de soja no Cerrado.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 1, p. 51-56, 2018.

GAN, Yinbo et al. **Efeito da adubação nitrogenada em cobertura em vários estádios reprodutivos sobre o crescimento, a fixação de N₂ e a produtividade de três genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merr.).** Pesquisa de culturas de campo, v. 80, n. 2, p. 147-155, 2003.

GARCIA, Taís Vargas; KNAAK, Neiva; FIUZA, Lidia Mariana. **Bactérias endofíticas como agentes de controle biológico na orizicultura.** Arquivos do Instituto Biológico, v. 82, n. 00, p. 1-9, 2015.

GAZZONI, Decio Luiz. **A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas.** Ciência e Cultura, v. 70, n. 3, p. 16-18, 2018.

GILCHRIST, M.; BENJAMIN, N. **Nitrito e nitrato na saúde e doença humana.** Nutrição e Saúde, p. 11-20, 2017.

GLICK, Bernard R. et al. **Bactérias promotoras de crescimento de plantas: mecanismos e aplicações.** Scientifica, v. 2012, 2012.

GUELLA, Felipe et al. **Análises de métricas genômicas indicam que *Paenibacillus azotofixans* não é um sinônimo posterior de *Paenibacillus durus*.** Revista Internacional de Microbiologia Sistemática e Evolutiva, v. 69, n. 9, p. 2870-2876, 2019.

GUIMARÃES, Vandeir Francisco; KLEIN, Jeferson; KESTRING KLEIN, Débora. **Promoção de crescimento e solubilização de fosfato na cultura da soja: coinoculação de sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e *Pseudomonas fluorescens*,** Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil, 3 set. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373695675_Promocao_de_crescimento_e_solubilizacao_de_fosfato_na_cultura_da_soja_coinoculacao_de_sementes_com_Bradyrhizobium_japonicum_e_Pseudomonas_fluorescens. Acesso em: 28 jun. 2024.

HADDAD, Fernando et al. **Sobrevivência de *Bacillus thuringiensis*, antagonista a *Hemileia vastatrix*, no filoplano de cafeeiros.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NATURAIS, 5., 2011, Jaguariúna. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 1 CD-ROM.

HUNGRIA, Mariangela et al. **Nutrição nitrogenada da soja no Brasil: contribuições da fixação biológica de N₂ e da adubação nitrogenada para a produtividade de grãos.** Jornal Canadense de Ciência das Plantas, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006.

HUNGRIA, Mariangela; CAMPO, Rubens José; MENDES, I. de C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja.** 2001. **Embrapa Soja.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja>. Acesso em: 30 out. 2024.

HUNGRIA, Mariangela; NOGUEIRA, Marco Antonio. **Tecnologias de inoculação da cultura da soja: Mitos, verdades e desafios**. Rondonópolis: Fundação MT, p. 50-62, 2019.

HUNGRIA, Mariangela; NOGUEIRA, Marco Antonio; ARAUJO, Ricardo Silva. **Co-inoculação de soja e feijão comum com rizóbios e azospirilas: estratégias para melhorar a sustentabilidade**. *Biologia e Fertilidade dos Solos*, v. 49, n. 7, p. 791-801, outubro de 2013. Embrapa Soja. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja>. Acesso em: 30 out. 2024.

HUNGRIA, Mariangela., NOGUEIRA, Marco Antonio; ARAUJO, Ricardo Silva. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. Embrapa Soja, Documentos 362. Londrina, PR (2015). Disponível em : <https://www.embrapa.br/soja> . Acesso em: 28 out. 2024.

JAIN, Devendra et al. **Nova rota microbiana para sintetizar nanopartículas de prata usando mistura de cristais de esporos de *Bacillus thuringiensis***. *IJEB*. v. 48. 2010.

JESUS, Ederson da Conceição et al. **A co-inoculação de *Bradyrhizobium* estimula a eficiência da simbiose do *Rhizobium* com o feijoeiro**. *Planta e solo*, v. 425, p. 201-215, 2018.

JORQUERA, Milko A. et al. **Isolamento de fosfobactérias cultiváveis com atividade de mineralização de fitato e solubilização de fosfato da rizosfera de plantas cultivadas em solo vulcânico**. *Biologia e Fertilidade dos Solos*, v. 44, p. 1025-1034, 2008.

JUNIOR, Aloisio Freitas Chagas et al. ***Bacillus subtilis* Bs10 como inoculante eficiente para promoção do crescimento em plantas de soja**. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, n. 4, p. 1769-1786, 2022. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/44686>. Acesso em: 28 out. 2024.

JUNIOR, Aloisio Freitas Chagas et al. ***Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja**. *Diversitas Journal*, v. 7, n. 1, p. 0001-0016, 2022. Disponível em: https://www.diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/2071. Acesso em: 28 out. 2024.

KASCHUK, Glaciela et al. **Resposta de cultivares de soja determinadas e indeterminadas à adubação nitrogenada basal e de cobertura em comparação com a inoculação solitária com *Bradyrhizobium***. *Pesquisa de Culturas de Campo*, v. 195, p. 21-27, 2016. Disponível em: <https://colab.ws/articles/10.1016%2Fj.fcr.2016.05.010>. Acesso em: 28 out. 2024.

KORIR, Hezekiah et al. **Efeito da co-inoculação de rizóbios e rizobactérias promotoras de crescimento de plantas no crescimento do feijoeiro em um solo fosfatado.** *Fronteiras na ciência das plantas*, v. 8, p. 202692, 2017.

KUHN, Odair José; PASCHOLATI, Sérgio Florentino. **Custo adaptativo da indução de resistência em feijoeiro mediada pela rizobactéria *Bacillus cereus* ou acibenzolar-S-metil: atividade de enzimas, síntese de fenóis e lignina e biomassa.** *Summa Phytopathologica*, v. 36, p. 107-114, 2010.

KUMAR, Satish et al. **Biofertilizantes: Uma tecnologia ecologicamente correta para reciclagem de nutrientes e sustentabilidade ambiental.** *Pesquisa atual em ciências microbianas*, v. 3, p. 100094, 2022.

LEGGETT, Mary et al. **Resposta da soja à inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* nos Estados Unidos e na Argentina.** *Revista de agronomia*, v. 109, n. 3, p. 1031-1038, 2017.

LIMA, Antonio Fabio Da Silva et al. **Eficiência fisiológica e desempenho do amendoim sob estresse salino e inoculado com *Bradyrhizobium*.** *Water Resources and Irrigation Management-WRIM*, v. 11, n. 1-3, p. 22-35, 2022.

LIMA, F. F. ***Bacillus subtilis* e níveis de nitrogênio sobre o desenvolvimento e a produtividade do milho.** 2010. 54 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Piauí, Teresina.

LING, Ning et al. ***Paenibacillus polymyxa* SQR-21 afeta sistemicamente os exsudatos radiculares da melancia para diminuir a germinação de conídios de *Fusarium oxysporum* f. sp. niveum.** *Planta e solo*, v. 341, p. 485-493, 2011.

MACHADO, Paula Thainá Rodrigues. **Avaliação da aplicação da espécie *Bacillus subtilis* no tratamento de meio sintético com alta carga nitrogenada.** 2021. 77 f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre. 2021.

MAPA — Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa No 13, de 24 de março de 2011. Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil.** Disponível em: <http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Instrucao-Normativa-13-de-24-03-2011.pdf>. Acesso em: 28 abr, 2024.

MARTIN, Thomas Newton et al. **Como a coinoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* se tornou indispensável para a produção de soja no Brasil?.** *Simbiose*, v. 91, n. 1, p. 119-137, 2023.

MENDIBURU, F. de. **Agrícola: procedimentos estatísticos para a investigação agrícola.** Versão do pacote R 1.3-6. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.2023. Acesso em: 28 abr, 2024.

MORETTI, Luiz Gustavo et al. **Efeitos de bactérias promotoras de crescimento na atividade radicular, desenvolvimento da planta e produtividade da soja.** *Agronomy Journal*, v. 112, n. 1, p. 418-428, 2020. Disponível em:

<https://bv.fapesp.br/pt/publicacao/193748/beneficial-microbial-species-and-metabolites-alleviate-soybe>. Acesso em: 28 abr, 2024.

NAIMAN, Andres D.; LATRÓNICO, Alejandra; DE SALAMONE, Inés E. García. **Inoculação de trigo com *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*: impacto na produção e microflora da rizosfera cultivável**. *Jornal Europeu de Biologia do Solo*, v. 45, n. 1, p. 44-51, 2009.

NASCIMENTO, Nathaly Alexandre do. **Caracterização do mecanismo de sinergia de toxinas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* sorovar. *israelensis* e *Lysinibacillus sphaericus* com ação em larvas de mosquitos**. 2020. 120 p. Tese, (doutorado)-Instituto Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2020.

NAVARRO JÚNIOR, Hugo Motta; COSTA, José Antonio. **Expressão do potencial de rendimento de cultivares de soja**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, p. 275-279, 2002.

NEHRING, Ryan. **A revolução verde brasileira**. *Geografia política*, v. 95, p. 102574, 2022.

NELSON, Eric B. **Dinâmica microbiana e interações na espermosfera**. *Rev. Phytopathol.*, v. 42, p. 271-309, 2004.

NIMNOI, Pongrawee; PONGSILP, Neelawan; LUMYONG, Saisamorn. **A coinoculação de soja (*Glycine max*) com actinomicetos e *Bradyrhizobium japonicum* aumenta o crescimento das plantas, a atividade da nitrogenase e a nutrição das plantas**. *Jornal de Nutrição Vegetal*, v. 37, n. 3, p. 432-446, 2014.

NUNES, Fábio Souza; RAIMONDI, Angela Cristina; NIEDWIESKI, Antonio Carlos. **Fixação de nitrogênio: estrutura, função e modelagem bioinorgânica das nitrogenases**. *Química Nova*, v. 26, p. 872-879, 2003.

PARDINHO, JP PRIMIERI; PRIMIERI, Cornélio. C. **Produtividade da soja em relação à inoculação e coinoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum***. *ISSN*, v. 2175, n. 2214, p. 109-114, 2015.

PASTORE, Alcindo. **Manejo de inoculação com *Bradyrhizobium* em soja associado ao tratamento fitossanitário das sementes**. 2016. 42 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias de Bioprodutos Agroindustriais. 2016.

PAVAN, María E. et al. ***Bacillus anthracis*: una mirada molecular a um patógeno célebre**. *Revista argentina de microbiología*, v. 43, n. 4, p. 294-310, 2011.

PAWAR, P. U. et al. **Efeito da coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Pseudomonas fluorescens* sobre o crescimento, produtividade e absorção de nutrientes em soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. *Pesquisa de Culturas*, v. 53, n. 1and2, p. 57-62, 2018.

Pereira, DD; Lemos, EE. **Efeito de inoculantes na cultura da soja: um estudo sobre a produtividade e o teor de nutrientes**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p.45, 2021.

PETKAR, V.; DESHMUKH, T.; JADHAV, A. **Efeito da inoculação dupla de *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum* sobre os parâmetros de crescimento da soja (*Glycine max L.*)**. Revista Internacional de Microbiologia Atual e Ciências Aplicadas, v. 7, n. 10, 2018.

QUESADA, Diego Mureb et al. **A fixação biológica de nitrogênio como suporte para a produção de energia renovável**. In: Anais do 3 Encontro de Energia no Meio Rural. 2000.

R CORE TEAM. R: **Uma linguagem e ambiente para computação estatística**. R **Fundação para Computação Estatística**, Viena, Áustria. URL <https://www.R-project.org/>. 2022.

REGES, Rayan Sabino et al. **Efeito de doses de herbicida e tipos de inoculantes sob a soja FTS Paragominas no brejo paraibano**. In: Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215. 2018. p. 73-80.

REZENDE, Cássia Cristina et al. **Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 10, n. 2, e50810212725, 2021.

RICHARDSON, Alan E. **Perspectivas de uso de microrganismos do solo para melhorar a aquisição de fósforo pelas plantas**. Biologia Vegetal Funcional, v. 28, n. 9, p. 897-906, 2001.

ROMANINI JÚNIOR, A. et al. **Avaliação da inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada no desenvolvimento do feijoeiro, sob sistema plantio direto**. Bioscience Journal, Uberlândia, MG, v. 23, n. 4, 2008.

SAMORA. **Área plantada com soja no Brasil em 23/24 deve crescer 2,9%, prevê Agroconsult**. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/soja/364324-area-plantada-com-soja-no-brasil-em-2324-deve-crescer-29-preve-agroconsult.html>. Acesso em: 10 jun,2024.

SANTOS, Annie Maia Batista et al. **Componentes de produção da cultivar de amendoim BR-1 submetida a inoculantes**. Scientia Agraria Paranaensis, v. 18, n. 2, p. 146-153, 2019.

SANTOS, Mariana Sanches; NOGUEIRA, Marco Antonio; HUNGRIA, Mariangela. **Inoculantes microbianos: revisando o passado, discutindo o presente e prevendo um futuro notável para o uso de bactérias benéficas na agricultura**. Amb Expresso, v. 9, n. 1, p. 205, 2019.

SHIBLES, Richard M. **Aquisição e utilização de nitrogênio de soja**. In: Proc. 28ª Conf. de Fertilidade do Solo da Indústria de Extensão Central Norte, St. Louis, MO. 1998. p. 11-12.

SILVEIRA, WINONA HEMILE RODRIGUES DIAS. **Uso de bactérias promotora de crescimento em cana-de-açúcar: Uma abordagem para a sustentabilidade da cultura**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em ciências biológicas. Instituto Federal Goiano - campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde Goiás, 2021.

SILVA, JOÁS José Da. **Uso do aplicativo Canopeo® para estimativa da massa de forragem do capim-elefante consorciado ou não com cunã.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Zootecnia, Recife, 2022. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/3409>. Acesso em: 28 abr, 2024.

SOARES, Bruno Lima et al. **Eficiência agronômica e econômica da inoculação do feijoeiro com rizóbio e adubação nitrogenada mineral.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 40, p. e0150235, 2016.

SOUSA, Clayton Albuquerque; JUNIOR, Mario de Andrade Lira; JOSÉ, Fernando. **Solubilização de fosfatos por bactérias endofíticas.** In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: O solo e suas múltiplas funções. 2016.

SOUZA, Luiz Carlos Ferreira de et al. **Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes.** Ciência e agrotecnologia, v. 33, p. 1586-15993, 2009.

SPAZIANI PEREIRA, Cassiano et al. **FORMAS DE APLICAÇÃO DE INOCULANTE NA CULTURA DA SOJA.** Tecno-Lógica, v. 26, n. 2, 2022.

SUBRAMANIAN, Parthiban et al. **Bactérias endofíticas melhoram a função do nódulo e o nitrogênio da planta em soja em coinoculação com *Bradyrhizobium japonicum* MN110.** Regulação do crescimento vegetal, v. 76, p. 327-332, 2015.

THIES, J. E.; WOOMER, P. L.; SINGLETON, P. W. **Enriquecimento de populações de *Bradyrhizobium* spp no solo devido ao cultivo da leguminosa hospedeira homóloga.** Biologia e Bioquímica do Solo, v. 27, n. 4-5, p. 633-636, 1995.

VIEIRA NETO, Santiel Alves et al. **Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 861-870, 2008.

VITTI, GC. E.; FURLANI, AMC. **Manejo do fósforo na cultura da soja.** In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Nutrição de Plantas.** 1997, Campinas. Instituto Agronômico de Campinas. Disponível em : <http://www.iac.sp.gov.br>. Acesso 28 out 2024.

ZAGO, Lucas Francesquini et al. **Inoculação de diferentes doses de *Bradyrhizobium* por cobertura e seu efeito na cultura da soja.** Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR, v. 21, n. 2, 2018.

ZANON, Alencar Júnior et al. **Ecofisiologia da soja: visando altas produtividades.** Santa Maria: Palloti, 2018.

ZHANG, Nan et al. **Um novo fertilizante bioorgânico pode efetivamente controlar a murcha da bananeira por forte colonização com *Bacillus subtilis* N11.** Planta e solo, v. 344, p. 87-97, 2011.

ZILLI, Jerri Édson et al. **A importância da desnitrificação realizada por bactérias fixadoras de nitrogênio utilizadas como inoculantes na América do Sul.** *Planta e solo*, v. 451, p. 5-24, 2020.

ZILLI, Jerri Édson; CAMPO, Rubens José; HUNGRIA, Mariangela. **Efetividade da inoculação de *Bradyrhizobium* na pré-semeadura da soja.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, p. 335-337, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/874295/1/2.pdf>. Acesso em: 15 mai, 2024.

APÊNDICES

POPULAÇÃO DE PLANTAS

Variável analisada: POPULA__O_

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	3	4.687500	1.562500	1.364	0.3008
erro	12	13.750000	1.145833		
Total corrigido	15	18.437500			
CV (%) =	8.35				
Média geral:	12.8125000	Número de observações:	16		

EXPLICAÇÃO

- F calculado < F tabelado: O valor de Fc (1.364) é menor que o valor crítico de F tabelado para o nível de significância considerado. Isso significa que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.
- Teste não significativo: O valor de Pr>Fc (0.3008) indica que as diferenças observadas entre os tratamentos podem ser atribuídas ao acaso.
- Conclusão: Não podemos afirmar que os tratamentos tiveram um efeito significativo na variável de interesse. As diferenças observadas não são estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95% (ou $\alpha=0.05$).

ALTURA DE PLANTAS

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	3	132.187500	44.062500	4.930	0.0186
erro	12	107.250000	8.937500		
Total corrigido	15	239.437500			
CV (%) =	2.75				
Média geral:	108.6875000	Número de observações:	16		

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 6,27833276705104 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 1,49478259288767

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	104.250000	a1
1	108.750000	a1 a2
3	109.500000	a1 a2
4	112.250000	a2

EXPLICAÇÃO

F calculado \geq F tabelado: O valor de Fc (4.930) é maior que o valor crítico de F tabelado para o nível de significância α considerado. Isso significa que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.

Teste significativo: O valor de Pr>Fc (0.0186) indica que as diferenças observadas entre os tratamentos não são atribuídas ao acaso.

Conclusão: Devemos rejeitar a hipótese nula ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$) e concluir que os efeitos dos tratamentos diferem significativamente entre si ao nível de significância α considerado. Essas diferenças são devidas ao efeito dos tratamentos, com um grau de confiança de $100 \times (1 - \alpha)\%$.

VAGENS COM 4 GRÃOS

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	3	4.125000	1.375000	2.694	0.0930
erro	12	6.125000	0.510417		
Total corrigido	15	10.250000			
CV (%) =	81.65				
Média geral:	0.8750000	Número de observações:	16		

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 1,50037122615288 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4

Erro padrão: 0,35721725415588

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	0.125000	a1
2	0.750000	a1
1	1.125000	a1
4	1.500000	a1

EXPLICAÇÃO

F calculado $<$ F tabelado: O valor de Fc (2.694) é menor que o valor crítico de F tabelado para o nível de significância α considerado. Isso significa que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.

Teste não significativo: O valor de Pr>Fc (0.0930) indica que as diferenças observadas entre os tratamentos podem ser atribuídas ao acaso.

Conclusão: Não podemos afirmar que os tratamentos tiveram um efeito significativo na variável de interesse. As diferenças observadas não são estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95% (ou $\alpha=0.05$).

VAGENS COM 3 GRÃOS

Variável analisada: G3

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	3	299.062500	99.687500	127.600	0.0000
erro	12	9.375000	0.781250		
Total corrigido	15	308.437500			
CV (%) =	2.76				
Média geral:	32.0625000	Número de observações:		16	

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 0,441941738241592

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	25.750000	a1
2	30.625000	a2
1	34.750000	a3
4	37.125000	a4

EXPLICAÇÃO

- F calculado \geq F tabelado:** O valor de Fc (127.600) é muito maior que o valor crítico de F tabelado para o nível de significância α considerado. Isso significa que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.
- Teste significativo:** O valor de Pr>Fc (0.0000) indica que as diferenças observadas entre os tratamentos não são atribuídas ao acaso.
- Conclusão:** Devemos rejeitar a hipótese nula ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$) e concluir que os efeitos dos tratamentos diferem significativamente entre si ao nível de significância α considerado. Essas diferenças são devidas ao efeito dos tratamentos, com um grau de confiança de $100 \times (1 - \alpha)\%$.

VAGENS COM 2 GRÃOS

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	3	7.671875	2.557292	1.275	0.3271
erro	12	24.062500	2.005208		
Total corrigido	15	31.734375			
CV (%) =	9.74				
Média geral:	14.5312500	Número de observações:		16	

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 2,97382942030152 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 0,708026894498601

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	13.500000	a1
1	14.375000	a1
4	14.875000	a1
2	15.375000	a1

EXPLICAÇÃO

- **F calculado < F tabelado:** O valor de Fc (1.275) é menor que o valor crítico de F tabelado para o nível de significância α considerado. Isso significa que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.
- **Teste não significativo:** O valor de Pr>Fc (0.3271) indica que as diferenças observadas entre os tratamentos podem ser atribuídas ao acaso.
- **Conclusão:** Não podemos afirmar que os tratamentos tiveram um efeito significativo na variável de interesse. As diferenças observadas não são estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95% (ou $\alpha=0.05$).

VAGENS COM 1 GRÃO

Variável analisada: G1

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	3	11.125000	3.708333	5.313	0.0146
erro	12	8.375000	0.697917		
Total corrigido	15	19.500000			
CV (%) =	55.69				
Média geral:	1.5000000	Número de observações:	16		

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 1,75443825354688 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 0,417707034495071

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	0.625000	a1
4	0.875000	a1
1	1.750000	a1 a2
2	2.750000	a2

EXPLICAÇÃO

- **F calculado \geq F tabelado:** O valor de Fc (5.313) é maior que o valor crítico de F tabelado para o nível de significância α considerado. Isso significa que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.
- **Teste significativo:** O valor de Pr>Fc (0.0146) indica que as diferenças observadas entre os tratamentos não são atribuídas ao acaso.
- **Conclusão:** Devemos rejeitar a hipótese nula ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$) e concluir que os efeitos dos tratamentos diferem significativamente entre si ao nível de significância α considerado. Essas diferenças são devidas ao efeito dos tratamentos, com um grau de confiança de $100 \times (1 - \alpha)\%$.

NÚMERO DE LEGUMES POR PLANTA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	3	476.546875	158.848958	26.966	0.0000
erro	12	70.687500	5.890625		
Total corrigido	15	547.234375			
CV (%) =	4.96				
Média geral:	48.9687500	Número de observações:	16		

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 5,0970276714629 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 1,21353048993422

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	40.000000	a1
2	49.500000	a2
1	52.000000	a2
4	54.375000	a2

EXPLICAÇÃO

- **F calculado \geq F tabelado:** O valor de Fc (26.966) é muito maior que o valor crítico de F tabelado para o nível de significância α considerado. Isso significa que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.
- **Teste significativo:** O valor de Pr>Fc (0.0000) indica que as diferenças observadas entre os tratamentos não são atribuídas ao acaso.
- **Conclusão:** Devemos rejeitar a hipótese nula ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$) e concluir que os efeitos dos tratamentos diferem significativamente entre si ao nível de significância α considerado. Essas diferenças são devidas ao efeito dos tratamentos, com um grau de confiança de $100 \times (1 - \alpha)\%$.

MASSA DE MIL SEMENTES

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	3	455.116919	151.705640	1.538	0.2553
erro	12	1183.545025	98.628752		
Total corrigido	15	1638.661944			
CV (%) =	4.96				
Média geral:	200.2231250	Número de observações:		16	

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 20,8563387631778 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 4,96560046931218

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	191.407500	a1
4	201.257500	a1
3	202.577500	a1
1	205.650000	a1

EXPLICAÇÃO:

- F calculado < F tabelado: O valor de Fc (1.538) é menor que o valor crítico de F tabelado para o nível de significância α considerado. Isso significa que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.
- Teste não significativo: O valor de Pr>Fc (0.2553) indica que as diferenças observadas entre os tratamentos podem ser atribuídas ao acaso.
- Conclusão: Não podemos afirmar que os tratamentos tiveram um efeito significativo na variável de interesse. As diferenças observadas não são estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95% (ou $\alpha=0.05$).

PRODUTIVIDADE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	3	1837869.635846	612623.211949	14.908	0.0002
erro	12	493117.850183	41093.154182		
Total corrigido	15	2330987.486029			

CV (%) = 3.93
 Média geral: 5156.4262631 Número de observações: 16

 Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 425,717048043943 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 101,357232329454

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	4736.704755	a1
3	5020.830450	a1 a2
2	5198.791090	a2
4	5669.378757	a3

EXPLICAÇÃO

- F calculado \geq F tabelado:** O valor de F_c (14.908) é muito maior que o valor crítico de F tabelado para o nível de significância α considerado. Isso significa que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.
- Teste significativo:** O valor de $Pr > F_c$ (0.0002) indica que as diferenças observadas entre os tratamentos não são atribuídas ao acaso.
- Conclusão:** Devemos rejeitar a hipótese nula ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$) e concluir que os efeitos dos tratamentos diferem significativamente entre si ao nível de significância α considerado. Essas diferenças são devidas ao efeito dos tratamentos, com um grau de confiança de $100 \times (1 - \alpha)$