

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**EFEITOS DA CO-INOCULAÇÃO DE *Herbaspirillum seropedicae* e
Bradyrhizobium japonicum NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DA SOJA**

AMANDA RAYANI CARDOSO ZAVALA

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2025

AMANDA RAYANI CARDOSO ZAVALA

**EFEITOS DA CO-INOCULAÇÃO DE *Herbaspirillum seropedicae* e
Bradyrhizobium japonicum NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal da
Grande Dourados, como parte dos requisitos
para obtenção do título de bacharel em
Biotecnologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Liliam Silvia Candido

Coorientador: Dr. Alison Fernando Nogueira

DOURADOS-MS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Z39e Zavala, Amanda Rayani Cardoso
 EFEITOS DA CO-INOCULAÇÃO DE *Herbaspirillum seropedicae* e *Bradyrhizobium japonicum* NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DA SOJA [recurso eletrônico] /
 Amanda Rayani Cardoso Zavala. -- 2025.
 Arquivo em formato pdf.

 Orientadora: Liliam Silvia Candido.
 Coorientador: Alison Fernando Nogueira.
 TCC (Graduação em Biotecnologia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.
 Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
 <https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

 1. Glycine max L.. 2. eficiência nutricional. 3. incremento de produtividade. I. Candido, Liliam Silvia. II. Nogueira, Alison Fernando. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

AMANDA RAYANI CARDOSO ZAVALA

**EFEITOS DA CO-INOCULAÇÃO DE *Herbaspirillum seropedicae* e
Bradyrhizobium japonicum NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado
pela Banca Examinadora como requisito
parcial para obtenção do título de bacharel
em Biotecnologia, da Universidade Federal
da Grande Dourados.

Orientadora: Profa. Dra. Liliam Silvia Candido

Coorientador: Dr. Alison Fernando Nogueira

Aprovado em: 17/12/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **LILIAM SILVIA CANDIDO**
Data: 18/12/2025 16:53:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Liliam Silvia Candido
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **ALISON FERNANDO NOGUEIRA**
Data: 18/12/2025 11:47:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Alison Fernando Nogueira
Membro

Documento assinado digitalmente
 **LIVIA MARIA CHAMMA DAVIDE DE CARVALHO**
Data: 18/12/2025 13:17:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Livia Maria Chamma Davide
Membro

Documento assinado digitalmente
 **BEATRIZ BRAGA SILVEIRA**
Data: 18/12/2025 09:00:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Beatriz Braga Silveira
Membro

Documento assinado digitalmente
 **CAMILA GOYA CHAMORRO**
Data: 18/12/2025 12:48:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Camila Goya Chamorro
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, que me sustenta e me dá uma nova oportunidade todos os dias, abençoando e me guardando.

Aos meus pais, Rita Cardoso e Atanacildo Zavala, que, sob o ardor do sol, dia a dia, me fizeram chegar até aqui pela sombra. E à minha irmã Maria Eduarda, que com sua curiosidade sempre esteve ao meu lado questionando e apoiando.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Liliam Silvia Candido e Dr. Alison Fernando Nogueira, pela orientação, incentivo, conselhos e ajuda durante todas as etapas, especialmente quando o projeto precisou mudar de rota no meio do caminho.

À equipe de inoculantes em soja e milho do Grupo de Melhoramento Genético e Biotecnologia Vegetal, em especial à Mariana Chaves Candido, minha amiga, que caminhou ao meu lado, dividindo dores, conquistas e felicidades durante toda a graduação. E ao Rayan Alexandre Lopes da Silva e ao Roberto Prado Machado que sempre estiveram dispostos a ajudar e ir à campo, até mesmo às 5h da manhã antes das aulas.

Aos membros do Laboratório de Ecofisiologia e Biotecnologia Agrícola, em especial à equipe de campo, pela implantação e manejo do experimento em Londrina, PR.

À equipe do Grupo de Ensino Pesquisa e Extensão Agrícola pela, implantação e manejo do experimento em Rio Verde, GO.

À empresa BioInput pelo suporte financeiro e disponibilização dos materiais e cepas utilizadas neste trabalho.

Aos membros da banca, Profa. Dra. Livia Maria Chamma Davide e às mestrandas, em Agronomia Beatriz Braga Silveira e, em Produção Vegetal Camila Goya Chamorro que gentilmente aceitaram fazer parte da avaliação final desse trabalho.

Por fim, reforço meu agradecimento a todos. Vocês de alguma forma, me ajudaram a chegar até aqui e foram essenciais para o meu crescimento e amadurecimento.

RESUMO

ZAVALA, Amanda Rayani Cardoso. **Efeitos da co-inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* e *Bradyrhizobium japonicum* no desenvolvimento agrônomo da soja.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biotecnologia) – Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2025.

A soja possui elevada demanda por nitrogênio (N) e forte dependência da fixação biológica de nitrogênio (FBN), realizada principalmente por cepas de *Bradyrhizobium japonicum*, podendo ser potencializada pela co-inoculação com outras bactérias promotoras de crescimento, como *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae*. A co-inoculação tem sido estudada como alternativa sustentável para melhorar o desenvolvimento inicial das plantas, a nodulação e a produtividade, especialmente em ambientes com condições contrastantes de solo e clima. O presente estudo foi conduzido em dois ambientes experimentais de campo, sendo um em Londrina, PR e o outro em Rio Verde, GO. Foram avaliados seis tratamentos aplicados diretamente às sementes, sendo um controle negativo (sem inóculo algum), uma cepa de *Bradyrhizobium japonicum*, uma associação de cepas de *Bradyrhizobium japonicum* com *Azospirillum*, comerciais, as quais serviram de testemunhas (controle positivo) e três diferentes cepas da associação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Herbaspirillum seropedicae*, denominadas Bac1, Bac2 e Bac3. Foram mensuradas a produtividade, o peso de mil grãos, o número de vagens, a altura média de plantas, a altura média da inserção da primeira vagem e o número médio de nódulos. A resposta das plantas aos tratamentos variou entre os ambientes, sendo que, em Londrina foi estatisticamente significativa para produtividade, número de sacas, peso de mil grãos, inserção da primeira vagem, número de nós e número de vagens. Para Rio Verde, houve diferença estatística entre os tratamentos para produtividade, número de sacas, inserção da primeira vagem e número de vagens, indicando forte influência das condições edafoclimáticas sobre o desempenho agrônomo da cultura da soja. Em ambos os ambientes a Bac3, obteve os melhores resultados para as características avaliadas tanto em Londrina quanto em Rio Verde sugerindo potencial para uso. Os resultados reforçam a importância da interação entre microrganismos inoculados e o ambiente no desenvolvimento da soja, demonstrando que a co-inoculação pode ser uma estratégia promissora para melhorar o desempenho produtivo da cultura. O estudo contribui para o avanço no entendimento da FBN e do papel de combinações bacterianas na sustentabilidade da sojicultura.

Palavras-chave: *Glycine max* L., eficiência nutricional, incremento de produtividade.

ABSTRACT

ZAVALA, Amanda Rayani Cardoso. **Effects of co-inoculation with *Herbaspirillum seropedicae* and *Bradyrhizobium japonicum* on the agronomic development of soybean**. Undergraduate Thesis (Bachelor in Biotechnology) – Faculty of Biological and Environmental Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, 2025.

Soybean has a high demand for nitrogen (N) and a strong dependence on biological nitrogen fixation (BNF), carried out mainly by strains of *Bradyrhizobium japonicum*, which can be enhanced through co-inoculation with other plant growth-promoting bacteria, such as *Azospirillum brasilense* and *Herbaspirillum seropedicae*. Co-inoculation has been investigated as a sustainable alternative to improve early plant development, nodulation, and productivity, especially in environments with contrasting soil and climatic conditions. The present study was conducted in two experimental field environments, one located in Londrina, PR, and the other in Rio Verde, GO. Six seed-applied treatments were evaluated: a negative control (without any inoculant), one strain of *Bradyrhizobium japonicum*, an association of *Bradyrhizobium japonicum* strains with a commercial *Azospirillum* inoculant (positive control), and three different combinations of *Bradyrhizobium japonicum* and *Herbaspirillum seropedicae*, named Bac1, Bac2, and Bac3. The variables measured included grain yield, thousand-grain weight, number of pods, average plant height, average height of the first pod insertion, and average number of nodules. Plant responses to the treatments varied between environments. In Londrina, statistically significant differences were observed for grain yield, number of bags per hectare, thousand-grain weight, first pod insertion height, number of nodes, and number of pods. In Rio Verde, significant differences among treatments were found for grain yield, number of bags per hectare, first pod insertion height, and number of pods, indicating a strong influence of edaphoclimatic conditions on the agronomic performance of the soybean crop. The results reinforce the importance of the interaction between inoculated microorganisms and the environment in soybean development, demonstrating that co-inoculation can be a promising strategy to improve the crop's productive performance. The study contributes to advancing the understanding of BNF and the role of bacterial combinations in the sustainability of soybean production.

Keywords: *Glycine max* L., nutrient use efficiency, yield increase.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação climática, características químicas e tipo de solo (profundidade 0 – 20 cm) das áreas experimentais de Londrina, PR e Rio Verde, GO.	14
Tabela 2 - Práticas agronômicas adotadas na área experimental durante a safra 2024/2025 de soja em Londrina - PR.....	14
Tabela 3– Práticas agronômicas adotadas na área experimental durante a safra 2024/2025 de soja em Rio Verde, GO.	15
Tabela 4– Protocolo dos tratamentos utilizados nos experimentos, utilizando a dose de 100 mL/50 kg de sementes.	16
Tabela 6 – Estimativas em fatorial dos quadrados médios, médias e coeficientes de variação de duas características avaliadas na soja em Londrina, PR e Rio Verde, GO.	24
Tabela 7 - Médias das características produtividade (PROD), sacas (SACAS) peso de 1000 grãos (P1000), altura da planta (AP), inserção da primeira vagem (IPV), número de nós (NN) e número de vagens por planta (NV).	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das áreas experimentais localizadas em Londrina, PR e Rio Verde, GO.	12
Figura 2. A – Semeadura em Londrina, PR; B – semeadura em Rio Verde, GO. Out/2024.....	13
Figura 3 – Disposição das parcelas dos experimentos instalados em campo. Londrina, PR, e Rio Verde, GO. Out/2024.	17
Figura 4 – Média mensal da precipitação e temperatura máxima e mínima em Londrina, PR durante a experimentação.Fonte: IDR Paraná.	20
Figura 5 – Média mensal da precipitação e temperatura máxima e mínima em Rio Verde, GO durante a experimentação. Fonte: INMET	21
Figura 6 – Incrementos de $sc\ ha^{-1}$ comparado cm o C^{-} . Londrina, PR.	26
Figura 7– Incremento de $sc\ ha^{-1}$ comparado com o C^{-1} . Rio Verde, GO.	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 A Cultura da soja	4
3.1.1 Origem da Soja	4
3.1.3 Glycine max L Merrill	5
3.2 O nitrogênio (N) no sistema Solo-Planta: importância, disponibilidade e absorção	6
3.3 Fixação biológica de nitrogênio	7
3.4 Gêneros: <i>Bradyrhizobium japonicum</i> ; <i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Herbaspirillum seropedicae</i>	9
3.5 Co-inoculação de <i>Bradyrhizobium japonicum</i> e <i>Herbaspirillum seropedicae</i>	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1 Características dos ambientes experimentais	12
4.2 Tratamentos em avaliação	15
4.3 Delineamento experimental	16
4.4 Características avaliadas	17
4.5 Análises estatísticas	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 Condições climáticas das estações	20
5.2 Análise de variância	21
5.2 Análise de variância em fatorial	23
5.3.1 Londrina, PR	24
5.3.2 Rio Verde, GO	26
6. CONCLUSÕES	28

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merr.), é cultivada em todo mundo e atualmente, o Brasil é o maior produtor. De acordo com o 12º levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento, divulgado em junho de 2025, a produção nacional atingiu 169.487,9 mil toneladas, representando um incremento de 14% em relação à safra anterior. (CONAB, 2025). Apesar do cenário positivo, fatores bióticos e abióticos causam grandes perdas de rendimento e qualidade dos grãos. Entre esses fatores, destaca-se a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN), considerada determinante para a estabilidade produtiva da soja (EMBRAPA, 2025).

O complexo agroindustrial da soja exerce papel estratégico no desenvolvimento socioeconômico do país, sendo responsável por gerar empregos, divisas e pela movimentação de diversos segmentos da cadeia produtiva. O sucesso do cultivo no país está diretamente ligado ao domínio tecnológico brasileiro, que permitiu a tropicalização da soja e sua expansão para regiões de baixas latitudes, como o Cerrado, por meio do desenvolvimento de cultivares adaptadas e da adoção de sistemas de produção eficientes (YANG, Q., 2021; EMBRAPA, 2025).

Do ponto de vista nutricional, nitrogênio é o macronutriente requerido em maior quantidade pela cultura da soja, e a indisponibilidade de N no solo frequentemente se torna um fator limitante para a produção agrícola (MATEUS, et al., 2022). A dependência da agricultura do uso intensivo de fertilizantes sintéticos, apresenta desafios significativos como o alto custo, as eventuais perdas por lixiviação além da emissão de gases de efeito estufa, agravando os impactos ambientais (CONRADO, et al., 2022).

Neste contexto, a fixação biológica do nitrogênio (FBN) apresenta-se como uma alternativa sustentável. A FBN é um processo biológico mediado por microrganismos diazotróficos, que capturam o nitrogênio atmosférico (N_2) e o convertem em amônia (NH_3), forma prontamente assimilável pelas plantas. Na cultura da soja, esse processo ocorre por meio da simbiose estabelecida entre a planta e bactérias, como as do gênero *Bradyrhizobium*. Essa simbiose leva à formação de nódulos radiculares, estruturas onde as bactérias, na forma de bacteroides, reduzem o N_2 à amônia, sob

condições adequadas, é capaz de suprir praticamente toda a demanda de nitrogênio da cultura (CONRADO et al., 2022; ZEFFA et al., 2018).

O Brasil é reconhecido internacionalmente como um dos exemplos mais bem-sucedidos na exploração dessa tecnologia, reduzindo significativamente a dependência de fertilizantes minerais e gerando expressiva economia ao setor produtivo. Mateus et al., (2022) demonstraram que a inoculação anual com *Bradyrhizobium* é uma prática agrônômica recomendada, resultando em ganhos médios de produtividade da ordem de 8% em áreas já cultivadas com soja.

Além da inoculação com *Bradyrhizobium*, a associação com rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) tem sido estudada como estratégia para ampliar a eficiência produtiva. A co-inoculação é uma prática que consiste na aplicação conjunta de diferentes microrganismos, buscando um efeito sinérgico que supere os resultados do uso isolado. A Embrapa, a partir da safra 2013/2014, passou a indicar o uso conjunto de *Bradyrhizobium* com a bactéria *Azospirillum brasilense*, uma PGPR que se destaca pela síntese de fitormônios, como o Ácido Indolacético (AIA). O principal benefício do *Azospirillum* está na sua capacidade de estimular o sistema radicular, o que aumenta o volume de solo explorado e, conseqüentemente, favorece a nodulação por *Bradyrhizobium* e a FBN (ZEFFA et al., 2020; GOMES et al. 2020 YANG, Q., 2021).

Diante desse contexto, a co-inoculação com *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* surge como uma estratégia promissora para potencializar o desenvolvimento da soja, ao interagir os benefícios da fixação biológica de nitrogênio com os efeitos promotores de crescimento. Embora essa tecnologia já esteja relativamente consolidada, novas combinações com outros microrganismos promotores de crescimento continuam sendo investigadas. Entre eles, destaca-se o gênero *Herbaspirillum*, composto por bactérias endofíticas diazotróficas, tradicionalmente associadas as culturas do milho e cana-de-açúcar, que têm demonstrado potencial para contribuir com a fixação de nitrogênio e a produção de fitormônios (ZEFFA et al., 2020). Assim, a avaliação dos efeitos dessa co-inoculação sobre o crescimento, nodulação e a produtividade da soja se torna relevante, visando ampliar o conhecimento sobre interações microbianas benéficas e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis para a cultura.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o efeito da co-inoculação de *Bradhyrhizobium japonicum* com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* sobre o desenvolvimento agrônomo e a produtividade da cultura da soja em Londrina, PR e Rio Verde, GO.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Comparar o desempenho agrônomo da soja submetida a diferentes tratamentos de inoculação, incluindo controle negativo, inoculação simples e co-inoculações bacterianas;
- b) Identificar qual das cepas avaliadas apresenta maior eficiência simbiótica e melhor desempenho agrônomo, especialmente em diferentes ambientes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Cultura da soja

3.1.1 Origem da Soja

A soja tem origem asiática, com maior evidência apontando para regiões da China. Era considerada um alimento sagrado, utilizada principalmente como fonte de proteína, fazendo parte essencial da dieta da população (ARCENIO, 2024). Estudos de diversidade genética mostram que materiais coletados no Vale do Rio Amarelo apresentam elevada variabilidade e amplos conjuntos alélicos, sugerindo que parte importante do processo de domesticação ocorreu nessa região (LI et al., 2010).

Outros trabalhos discutem origens alternativas, como áreas ao sul e no nordeste da China, mas há consenso de que a domesticação envolveu populações selvagens de *G. soja* e processo seletivo para características como maior facilidade de debulha e aumento do tamanho das sementes (LI et al., 2010). A *G. max* difere do *G. soja* por ter vagens e sementes menores, caules menos rasteiros e ser mais fácil de debulhar na maturidade, o que é uma característica crucial de domesticação (CHEN, 2004).

A produção de soja permaneceu restrita à China até aproximadamente 1894, ao final da guerra entre a China e o Japão. A expansão para o Ocidente ocorreu no final dos séculos XV e XVI, quando foi inicialmente introduzida na Europa. O interesse pela produção em larga escala de soja como fonte de óleo vegetal e proteína surgiu apenas no início do século XX, sendo impulsionado nos Estados Unidos após a Primeira Guerra Mundial (HIRAKURI, 2021).

3.1.2 A soja no Brasil

Os primeiros registros de introdução da soja no Brasil datam do final do século XIX, quando pequenos lotes de sementes chegaram à Bahia (HIRAKURI, 2021), assim como a primeira pesquisa atribuída ao Professor Gustavo D'Utra, no Recôncavo Baiano (DALL'AGNOL, 2016).

Apesar de ter sido introduzida no país ainda no século XIX, a soja manteve baixa relevância agrícola durante grande parte do período seguinte, principalmente porque o material genético disponível não se adequava bem às condições tropicais brasileiras. Nas regiões produtoras do Sul, era comum o uso da cultura como alternativa de alimentação animal, especialmente na forma de grão para suínos e

como forragem para bovinos em pequenas propriedades. A situação começou a mudar na década de 1960, quando a oleaginosa passou a ganhar valor econômico, impulsionada pelas condições favoráveis dos estados do Sul, cuja latitude e clima se assemelhavam aos do sul dos Estados Unidos, o que possibilitou a adoção de sistemas rotacionados, como trigo no inverno e soja no verão (OLIVEIRA et al., 2021).

Até o final da década de 1960, a produção de soja no Brasil ainda era limitada às regiões de maior latitude, próximas ou superiores a 30°, porque o material genético disponível não se adaptava às condições de dias curtos do restante do país. Com o avanço das pesquisas, especialmente após a criação da Embrapa Soja em 1975, iniciou-se um processo de adaptação da cultura às condições tropicais. Entre as inovações desenvolvidas, destaca-se a incorporação do caráter de período juvenil longo, que impede o florescimento antecipado em ambientes de baixa latitude. Esse conjunto de tecnologias permitiu que a soja se expandisse para praticamente todas as regiões brasileiras, contribuindo para que o país se tornasse o principal produtor e exportador mundial da oleaginosa (DALL'AGNOL, 2016).

3.1.3 Glycine max L Merrill

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma planta herbácea da família Fabaceae, caracterizada por caule pubescente geralmente pouco ramificado, sistema radicular pivotante bem desenvolvido e folhas trifolioladas ao longo do ciclo, exceto o primeiro par de folhas simples acima do nó cotiledonar. Apresenta flores autógamas de coloração branca a roxa e vagens arqueadas que, ao amadurecer, passam do verde para tons amarelados ou marrons, contendo de uma a cinco sementes de formato elíptico ou globoso. As cultivares podem apresentar crescimento determinado, indeterminado ou semideterminado, o que influencia sua arquitetura e distribuição de estruturas reprodutivas. A altura das plantas varia conforme condições ambientais e características genéticas, sendo considerada ideal entre 60 e 110 cm para facilitar o manejo e a colheita mecanizada. Por ser uma planta de dias curtos, sua floração é estimulada por noites mais longas, porém o desenvolvimento de cultivares com período juvenil longo permitiu sua adaptação a baixas latitudes, tornando possível o cultivo em praticamente todo o território brasileiro. As variedades são classificadas em grupos de maturação, definidos de acordo com a duração do ciclo em cada região produtora (EMBRAPA, 2025).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor de soja (*Glycine max* L.) do mundo, com produção recorde de 171,472 milhões de toneladas na safra 2024/25, consolidando a oleaginosa como a mais importante economicamente e um dos pilares do agronegócio no Brasil. Nesta safra, o estado do Paraná foi responsável por 11,65% da produção do país, totalizando 19,978 milhões de toneladas. O estado de Goiás também se destacou, contribuindo com 12,09% da produção nacional, equivalente a 20.725,5 mil t (CONAB, 2025).

3.2 O nitrogênio (N) no sistema Solo-Planta: importância, disponibilidade e absorção

O nitrogênio desempenha um papel central no metabolismo vegetal, integrando moléculas fundamentais, como proteínas, ácidos nucleicos e pigmentos relacionados à fotossíntese. Sua ausência compromete processos vitais, o que se reflete em crescimento reduzido, baixa eficiência fotossintética e dificuldade em completar o ciclo reprodutivo (ALVES, 2020). Na soja, essa exigência é ainda mais evidente devido ao elevado teor proteico dos grãos, que atinge aproximadamente 38%. Estima-se que, para produzir uma tonelada de grãos, a cultura necessite de cerca de 80 kg de nitrogênio (HUNGRIA, 2007).

A deficiência de N manifesta-se principalmente pela diminuição da síntese de clorofila, o que provoca clorose nas folhas mais velhas e consequentemente dificultando a respiração celular e desenvolvimento da planta (BATISTA, 2021). Apesar de abundante na atmosfera, o nitrogênio ocorre predominantemente na forma gasosa (N_2), cuja ligação tripla torna a molécula extremamente estável e biologicamente indisponível. Dessa forma, o N_2 atmosférico não pode ser assimilado diretamente pela maioria das plantas, exigindo processos de conversão para formas reativas que possam ser absorvidas e incorporadas ao metabolismo vegetal (COSTA, 2023).

No caso da soja, o nitrogênio pode ter origem em quatro fontes principais:

1. Matéria orgânica do solo: A mineralização da matéria orgânica libera nitrogênio amoniacal e nítrico, fundamentais para o suprimento inicial da cultura. Entretanto, em regiões tropicais, a decomposição acelerada e o baixo teor de matéria orgânica limitam a disponibilidade desse nutriente, resultando em contribuições que raramente ultrapassam 10–15 kg por safra (ALVES, 2020; COSTA, 2023).

2. Fixação Não-Biológica: Processos físicos e químicos, como descargas elétricas, combustão ou atividade vulcânica, convertem pequenas quantidades de N_2 em formas reativas. Embora fundamentais no ciclo global do nitrogênio, representam uma fração relativamente pequena das entradas totais, estimada em torno de 10% (HUNGRIA, 2007).

3. Fertilizantes Nitrogenados: O nitrogênio mineral aplicado por meio de fertilizantes é prontamente assimilado pelas plantas, porém, apresenta limitações importantes. A síntese industrial pelo processo Haber–Bosch tem elevado custo energético e demanda significativa de combustíveis fósseis. Além disso, a eficiência agrônômica é relativamente baixa, devido a perdas por volatilização, lixiviação, desnitrificação e escoamento superficial, que podem reduzir a recuperação do nutriente para valores inferiores a 50%. Tais perdas também estão associadas a impactos ambientais, incluindo a contaminação das águas por nitrato e a emissão de gases de efeito estufa (HUNGRIA, 2007; BATISTA, 2021).

4. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN): Entre as fontes disponíveis, a FBN é a alternativa mais eficiente e sustentável para o suprimento de N na soja. Nesse processo, microrganismos diazotróficos convertem o N_2 em amônia, que posteriormente é transformada em íons amônio e nitrato, que participam diretamente das vias metabólicas da planta. Em escala global, a fixação biológica é responsável por grande parte da entrada anual de nitrogênio reativo nos ecossistemas terrestres, destacando-se por sua elevada contribuição, especialmente em sistemas agrícolas com leguminosas (HUNGRIA, 2007; ALVES, 2020).

Para ser assimilado, o nitrogênio precisa estar em formas minerais que possam ser transportadas pelo sistema radicular, principalmente o nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+). Fertilizantes fornecem essas formas prontamente disponíveis, enquanto, nas demais fontes, o N necessita passar por processos de mineralização ou de redução. Assim, a eficiência de absorção varia conforme a origem do nutriente, destacando a importância da FBN como mecanismo capaz de atender a grande parte da demanda da cultura, com menor impacto econômico e ambiental (HUNGRIA, 2007; ALVES, 2020).

3.3 Fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é um processo fundamental para a vida na Terra e a principal via de incorporação do nitrogênio (N) na biosfera, sendo o

segundo processo biológico mais importante, logo após a fotossíntese. O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura da soja (EMBRAPA, 2025). A FBN é realizada por grupos específicos de microrganismos capazes de sintetizar a enzima nitrogenase, convertendo a N_2 atmosférica em formas assimiláveis pelas plantas. Este processo é essencial, pois o nitrogênio atmosférico, embora abundante, não pode ser assimilado diretamente pela maioria das plantas (RECIMA21, 2023).

A redução do nitrogênio atmosférico ocorre pela quebra da ligação tripla do N_2 , processo energeticamente elevado, mediado pela atuação da nitrogenase. Durante a reação, elétrons são transferidos para a molécula de N_2 até a formação de amônia, que posteriormente é incorporada aos compostos produzidos pela planta. Como a nitrogenase é extremamente sensível ao oxigênio, os organismos fixadores precisam manter condições que limitem a presença de oxigênio (O_2), seja vivendo em microambientes naturalmente pobres em O_2 , seja criando mecanismos internos que protejam o complexo enzimático. (MASSON-BOIVIN & SACHS, 2018; KABA et al., 2019).

A interação entre microrganismos fixadores de nitrogênio e a planta ocorre nos nódulos, estruturas especializadas onde se estabelece a simbiose. No caso das leguminosas, esses nódulos se desenvolvem principalmente nas raízes, resultado da associação com bactérias do grupo dos rizóbios (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013). Tais rizóbios possuem alguns genes incorporados que são organizados em ilhas genômicas de simbiose que contêm:

- Nod - lipoquitooligossacarídeos (LCOs) : São moléculas sinalizadoras responsáveis pela produção de fatores nodulares. Sendo compostas por um oligossacarídeo, um lipídio e grupos químicos específicos de cada rizóbio;
- Nif: São genes que codificam a enzima nitrogenase, responsável pela transformação de $N_2 \rightarrow NH_3$;
- Fix: São genes responsáveis pela regulação do metabolismo bacteriano dentro do nódulo, onde há pouco oxigênio.

A formação dos nódulos radiculares ocorre a partir de um solo com baixa disponibilidade de nitrogênio os pelos radiculares liberam flavonoides como sinais químicos para atrair os rizóbios, eles se multiplicam e induzem a formação do tubo de

infecção, este tubo cresce em direção ao córtex da raiz e libera as bactérias nas células da raiz para que os fatores Nod dos rizóbios induzam a divisão das células corticais e formem os nódulos, permitindo assim a fixação de nitrogênio (BERRUEZO, L. A., 2024; GONÇALVES, 2025).

A FBN é uma prática da agricultura de baixo carbono que contribui significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (AGRO BAYER, 2025). É a principal fonte de N para a cultura da soja, com a capacidade de fornecer todo o N de que ela necessita. O Brasil é líder mundial na contribuição da FBN para a agricultura, especialmente na cultura da soja. O uso da FBN em lavouras de soja no Brasil gera uma economia anual bilionária ao reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados (RECIMA21, 2023).

A FBN na sojicultura gera uma economia anual estimada em US\$ 7 bilhões ao reduzir o uso de fertilizantes (AGRO BAYER, 2025). Em 2021, a adoção da FBN em lavouras de soja gerou uma economia de cerca de 38 bilhões de reais nas importações de adubos nitrogenados. Essa economia subiu para 72 bilhões de reais em 2022, um aumento de 89% em relação ao ano anterior. Estima-se que a FBN contribua para uma redução de 5,4 toneladas de equivalentes de dióxido de carbono por hectare (DINIZ, 2025).

3.4 Gêneros: *Bradyrhizobium japonicum*; *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae*

O *Bradyrhizobium japonicum* é uma das bactérias simbióticas mais importantes na cultura da soja, reconhecida por sua eficiência na formação de nódulos e no fornecimento de nitrogênio à planta (ZEFFA et al., 2020). A infecção ocorre principalmente por meio dos pelos radiculares, onde se inicia o processo de nodulação que dará origem aos nódulos fixadores (SEIXAS et al., 2020; CONRADO et al., 2022). No interior dessas estruturas, o microrganismo converte N₂ atmosférico em amônia por meio da nitrogenase, disponibilizando esse nitrogênio para o metabolismo da planta (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013; MATEUS, et al., 2022).

O desenvolvimento de cepas eficientes desse gênero contribui diretamente para o fato de o Brasil produzir soja sem necessidade de adubação nitrogenada mineral em larga escala (COSTA, 2023). A nodulação da soja pode ser avaliada com maior precisão entre 25 e 30 dias após a inoculação (FERREIRA, 2024). Além disso,

B. japonicum possui a capacidade de metabolizar ácido indolacético (AIA), o que influencia processos associados ao crescimento vegetal (SOUZA, 2015).

Espécies do gênero *Azospirillum*, são amplamente utilizadas como rizobactérias promotoras de crescimento vegetal. Possuem capacidade de fixar quantidades limitadas de nitrogênio devido a sua capacidade de colonização ser majoritariamente rizosférica, seu principal papel agrônomo está associado à produção de fitormônios, como o ácido indolacético (AIA), que favorece o desenvolvimento do sistema radicular. O aumento do volume de raízes permite maior exploração do solo, melhora a absorção de nutrientes e de água e pode intensificar a formação de nódulos por *Bradyrhizobium*, beneficiando indiretamente a FBN (CONRADO et al., 2022; MATEUS, et al., 2022; SILVA et al., 2023).

Herbaspirillum seropedicae é uma bactéria diazotrófica associativa e endofítica, capaz de colonizar tanto a rizosfera quanto o interior dos tecidos vegetais e fixar nitrogênio atmosférico de diversas culturas, incluindo gramíneas e algumas leguminosas. Trata-se de um microrganismo Gram-negativo, conhecido por contribuir para o suprimento de nitrogênio e por influenciar processos relacionados ao crescimento vegetal por meio da produção de reguladores de crescimento (SOUZA, 2015). Sua associação com as plantas ocorre sem a formação de nódulos, o que a caracteriza como uma bactéria promotora de crescimento vegetal (PGPR) com potencial para co-inoculação com outras bactérias fixadoras simbióticas (BALDANI et al. 1986).

3.5 Co-inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Herbaspirillum seropedicae*

A co-inoculação da soja com *Bradyrhizobium japonicum* e *Herbaspirillum seropedicae* tem sido destacada como uma estratégia eficiente para intensificar a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e melhorar o desempenho agrônomo da cultura. O *Bradyrhizobium japonicum* é amplamente reconhecido por sua capacidade de formar nódulos eficazes e suprir grande parte da necessidade de nitrogênio da soja (HUNGRIA; MENDES; NOGUEIRA, 2001; ZEFFA et al., 2018). Já *H. seropedicae* estabelece interações associativas com diferentes espécies vegetais, atuando tanto no fornecimento de nitrogênio quanto na promoção do crescimento (BALDANI; BALDANI, 2005; MONTEIRO et al., 2012).

A presença de *H. seropedicae* pode favorecer o desenvolvimento do sistema radicular e ampliar o volume de solo explorado, criando condições mais adequadas para a infecção dos pelos radiculares e a formação dos nódulos induzidos por *Bradyrhizobium*. Estudos demonstram que a colonização por *Herbaspirillum* aumenta a produção de hormônios vegetais e estimula o crescimento radicular, o que tende a potencializar a nodulação e a eficiência da FBN quando combinada com rizóbios simbióticos (MONTEIRO et al., 2012; BALDANI et al., 2014).

Além de melhorar a nodulação, a co-inoculação também pode aperfeiçoar processos fisiológicos da planta, como a absorção de nutrientes, a tolerância ao estresse hídrico e o acúmulo de biomassa. Pesquisas indicam que sistemas baseados na associação entre microrganismos diazotróficos simbióticos e associativos contribuem para incrementos de produtividade e maior estabilidade do cultivo, especialmente em ambientes com menor disponibilidade de nitrogênio no solo (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013; FUKAMI; CERZINI; HUNGRIA, 2018).

Nesse contexto, a combinação de *B. japonicum* e *H. seropedicae* representa um avanço relevante no manejo biotecnológico da cultura da soja. A estratégia reforça o uso eficiente da FBN e reduz a dependência de fertilizantes nitrogenados industriais, alinhando-se a práticas de agricultura sustentável e de baixo impacto ambiental (BALDANI; BALDANI, 2005; HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características dos ambientes experimentais

Foi conduzido o mesmo experimento em dois ambientes diferentes, sendo que em um foi utilizado uma área da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL) em Londrina, PR, com coordenadas geográficas 23°20'21"S 51°12'23"O a 521m do nível do mar. E o outro uma área experimental do Grupo de Ensino, Pesquisa e Extensão (GEPEA) do Instituto Federal Goiano, 53RV+8W em Rio Verde, GO. (Figura 1). Em ambos ambientes o experimento foi conduzido entre outubro de 2024 e março de 2025.

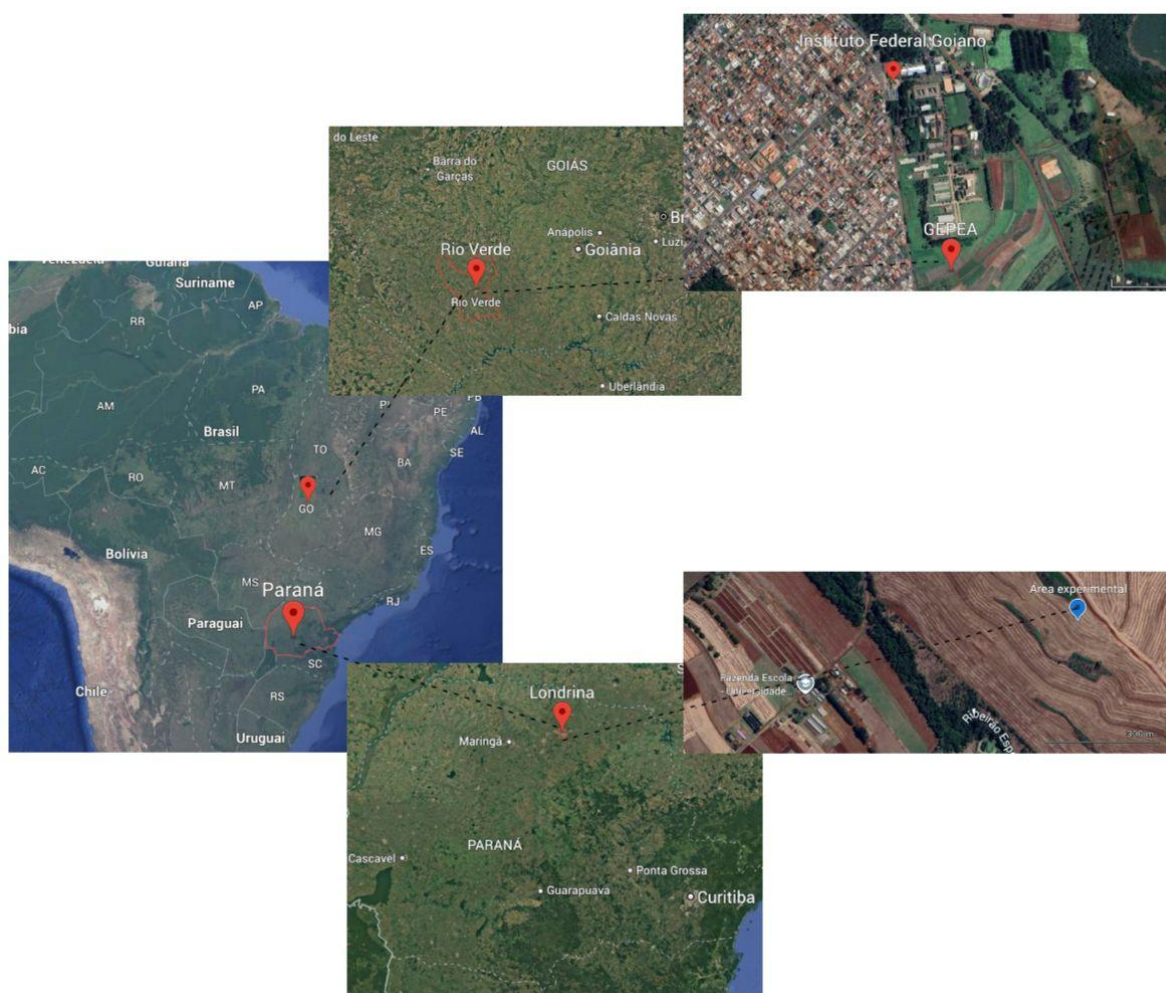


Figura 1 – Localização das áreas experimentais localizadas em Londrina, PR e Rio Verde, GO.

As sementeiras dos experimentos foram realizadas em plantio direto e ocorreram nos dias 15 de outubro de 2024 em Londrina (Figura 2A) e em Rio Verde, no dia 26 de outubro de 2024 (Figura 2B). As colheitas foram realizadas em março de 2025.

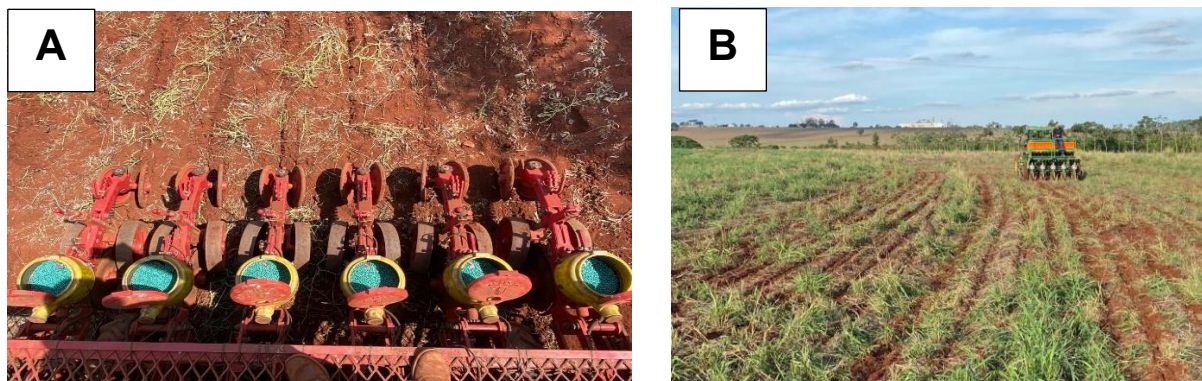


Figura 2. A – Semeadura em Londrina, PR; B – Semeadura em Rio Verde, GO. Out/2024.

No município de Londrina, o solo predominante é o Latossolo Vermelho distroférico (LVd), caracterizado por ser argiloso, possuir elevada porosidade e boa infiltração de água, apesar disso, apresenta baixa fertilidade natural por ser distrófico, com baixos teores de bases trocáveis e elevada acidez (OLIVEIRA et al., 2024). O clima da região de Londrina é classificado como Cfa (NITSCHKE et al., 2019), caracterizado por verões quentes, com pouca frequência de geadas e maior incidência de chuvas no verão, sem estação seca definida (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTRELHAS, 2002; RETORE, 2024).

Em Rio Verde, o tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho Nitossólico (LVN), de textura argilosa, estrutura granular e elevada porosidade, é naturalmente baixo em teores de fósforo, cálcio e magnésio. Assim como também possui boa agregação e resistência à erosão devido a presença de horizonte nítico, podendo favorecer a produtividade quando associado ao plantio direto, reposição de nutrientes e rotação de culturas (EMBRAPA, 2023). O clima de Rio Verde é Aw, segundo a classificação de Koppen-Geiger, é definido como tropical com inverno seco, verão quente chuvoso e temperaturas com médias mensais acima de 23,7°C durante o ano todo (KOPPEN, 1936; ALVARES et al., 2013; CLIMATE, 2025). As características químicas do solo das áreas experimentais estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação climática, características químicas e tipo de solo (profundidade 0 – 20 cm) das áreas experimentais de Londrina, PR e Rio Verde, GO.

Característica	Clima	Solo	pH	H+ Al	K	Ca	Mg	Al	P	M.O.
			(CaCl ₂)			(cmolc dm ³)				(%)
Londrina – PR	Cfa	LVD	4,78	6,19	0,56	5,91	2,40	0,13	26,09	40,02
Rio Verde – GO	Aw	LVN	5,20	3,96	0,26	2,19	0,62	0	12,10	28,8

CaCl₂: Cloreto de cálcio; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: manganês; Al: alumínio; H+Al: acidez total; P: fósforo; LVD: Latossolo Vermelho distroférrico; Latossolo Vermelho Nitossólico; M.O.: Matéria orgânica.

O manejo fitossanitário em, Londrina, PR (Tabela 2) e em Rio Verde, GO (Tabela 3), foi realizado de acordo com as avaliações semanais dos agrônomos das estações e foram realizadas as aplicações conforme necessárias, a fim de evitar o crescimento de plantas daninhas e a incidência de pragas e doenças.

Tabela 2 - Práticas agronômicas adotadas na área experimental durante a safra 2024/2025 de soja em Londrina - PR.

Data Aplicação	Produto	Funcionalidade	Dose L ha ⁻¹	Vazão L ha ⁻¹ (bomba)	Dose mL g ⁻¹ em 20L
28/10/2024	- RoundUp	Herbicida	1,6		400
	- Select	Herbicida	0,52	80	130
	- Forseti	Adjuvante	0,05%		10
	- Tritex	Óleo	0,05%		10
08/11/2024	- Connect	Inseticida	0,2		50
	- Pirate	Inseticida	0,32	80	80
	- Becatron	Adjuvante	0,05%		10
26/11/2024	- RoundUp	Herbicida	2,4		600
	- Basagram	Herbicida	1,2		300
	- Select	Herbicida	0,6	80	150
	- Forseti	Adjuvante	0,05%		10
	- Tritex	Óleo	0,05%		10
05/12/2024	- Fox XPro	Fungicida	0,352		88
	- Previnil	Fungicida	1,7		425
	- Talismã	Inseticida	0,6	80	150
	- Becatron	Adjuvante	0,05%		10
19/12/2024	- Ativum	Fungicida	0,9		88
	- Sperto	Inseticida	0,25	80	425
	- Tritex	Óleo	0,05%		150
	- Becatron	Adjuvante	0,05%		10
20/01/2025	- Fox XPro	Fungicida	0,5		125
	- Previnil	Fungicida	2,5		625
	- Vertimex	Inseticida	0,15		37,5
	- Sperto	Inseticida	0,3	80	75
	- Tritex	Adjuvante	0,05%		10
	- Becatron	Adjuvante	0,05%		10

L ha⁻¹: litros por hectare; mL g⁻¹: mililitros por grama; kg ha⁻¹: quilos por hectare; g: grama.

Tabela 3– Práticas agronômicas adotadas na área experimental durante a safra 2024/2025 de soja em Rio Verde, GO.

Data aplicação	Produto	Funcionalidade	Dose Lha ⁻¹	Vazão L ha ⁻¹ (bomba)	Dose mL g ⁻¹ em 20L
23/10/2024	- Glifosato	Herbicida	3	80	750
	- Select	Herbicida	0,65		163
	- Airtruck	Antideriva	0,1		25
	- Wetcit Gold	Óleo	0,1		25
	- Nimbus	Adjuvante	1		250
02/11/2024	- Glifosato	Herbicida	3	80	750
	- Select	Herbicida	0,65		163
	- Airtruck	Antideriva	0,1		25
	- Wetcit Gold	Óleo	0,1		25
	- Nimbus	Adjuvante	1		250
26/11/2024	- Fusão Ec	Fungicida	0,58	80	145
	- Engeo Pleno S	Inseticida	0,3		75
13/12/2024	- Fox XPro	Fungicida	0,5	80	125
	- Engeo Pleno S	Inseticida	0,2		50
	- Wexite	Acefato	1kg/ha		250g
	- Naft	Adjuvante	1		250
26/12/2024	- Ativum	Fungicida	0,8	80	200
	- Bio Imune	Fungicida	1		250
	- Premio	Fungicida	0,05		12,5
	- Wexite	Acefato	1kg/ha		250g
	- Naft	Adjuvante	1		250
14/01/2025	- Approach Power	Fungicida	0,1	80	25
	- Bio Imune	Fungicida	1		250
	- Karate Zeon	Inseticida	0,15		37,5
	- Wexite	Acefato	1kg/ha		250g
	- Airtruck	Adjuvante	0,1		25
	- Orix	Fungicida	1		250

L ha⁻¹: litros por hectare; mL g⁻¹: mililitros por grama; kg ha⁻¹: quilos por hectare; g: grama.

4.2 Tratamentos em avaliação

Foram avaliados 6 tratamentos, sendo, (i) controle negativo (sem inóculo), (ii) cepa de *Bradyrhizobium japonicum* e (iii) co-inoculação de cepas de *Bradyrhizobium japonicum* com *Azospirillum brasilense* V5+V6, as quais serviram de testemunhas (controle positivo) e (iv-vi) co-inoculação de três diferentes cepas de *Bradyrhizobium japonicum*, *Herbaspirillum seropedicae* e *Azospirillum brasilense* – V5, denominadas Bac1, Bac2 e Bac3 (Tabela 4). As sementes de soja e cepas em teste foram fornecidas pela BioInput®, Startup situada em Cambé, PR. Todos os tratamentos foram aplicados diretamente nas sementes (TS), em concentração de células viáveis

de 2×10^8 UFC/mL e dose de 100 mL/50 kg de sementes, visando assegurar a concentração mínima de células viáveis conforme a especificação de cada inoculante.

Tabela 4– Protocolo dos tratamentos utilizados nos experimentos, utilizando a dose de 100 mL/50 kg de sementes.

Tratamento	Produto
Controle negativo (C-)	-
Controle positivo 1 (C1)	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> (Bj)
Controle positivo 2 (C2)	Bj + (Ab -V5 + Ab - V6)
Bac1	Bj + Hs02
Bac2	Bj + (Ab - V5 + Hs02)
Bac3	Bj + (Hs01 + Hs02)

Ab - V5: *Azospirillum brasilense* V5; Ab – V6: *Azospirillum brasilense* V6; Hs01: *Herbaspirillum seropedicae* 01; Hs02: *Herbaspirillum seropedicae* 02.

Para o preparo dos inoculantes, foram transferidos 1mL de criotubos das cepas bacterianas, armazenadas previamente em vials com caldo DYGS e glicerol 20% em freezer -80°C , para frascos Erlenmeyer de 250mL com 100mL de caldo DIGGS e incubados em shaker orbital (Nova Técnica, NT-735, Brasil) a 35°C e 180rpm. Após 7h de cultivo, 4mL do inóculo (1%, v/v) foi transferido para frascos Erlenmeyer de 1L contendo 400mL de caldo DIGGS e incubados à 35°C , 180rpm, por 72h. Após a fermentação, alíquotas foram retiradas para a verificação da pureza do caldo fermentado através de análise microscópica, densidade óptica e plaqueamento em ágar DIGGS.

4.3 Delineamento experimental

Para as duas estações seguiu-se o mesmo delineamento, o de blocos ao acaso (Figura 3), contendo oito repetições de cada tratamento, totalizando 48 parcelas de 6 linhas de 5 metros de comprimento com espaçamento de 45 cm entre as linhas e 50 cm entre parcelas e densidade de 16 sementes por metro linear.

A adubação de base utilizando NPK foi de 250 kg ha^{-1} na proporção de 0-20-4 em Londrina e 2-20-18 em Rio Verde. A cultivar de soja utilizada para semeadura foi a DM 66i68 IPRO. Foi considerado como área útil os quatro metros centrais das quatro linhas do meio de cada parcela.

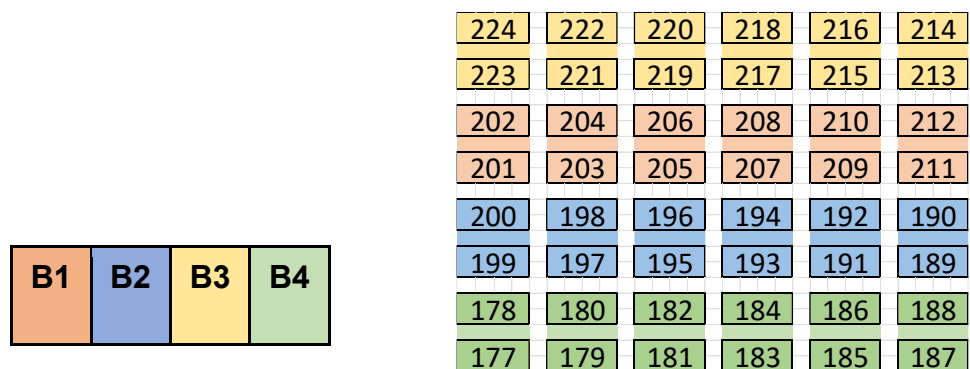


Figura 3 – Disposição das parcelas dos experimentos instalados em campo. Londrina, PR, e Rio Verde, GO. Out/2024.

4.4 Características avaliadas

Foram avaliadas as seguintes características:

- Produtividade (kg ha^{-1}) - (PROD): peso total dos grãos da parcela com umidade corrigida a 13%, seguindo a seguinte equação:

$$\text{Produtividade} = \left(\frac{(\text{Peso a } 13\% * 22222,222)}{m \text{ lineares colhidos}} \right) / 1000$$

- Número de sacas por hectare (sc ha^{-1}) - (SACAS): Refere-se a quantas sacas de 60kg foram produzidas, portanto, segue a seguinte equação:

$$\text{Sacas} = \frac{\text{Produtividade}}{60\text{kg}}$$

- Peso de 1000 grãos (g) - (P1000): Mensurado em cada parcela experimental, sendo avaliadas com auxílio de uma balança semi-analítica, após a colheita;

- Altura média das plantas (cm) - (AP): Em campo, nas plantas de soja em estágio entre R2 e R3. Foram mensuradas com auxílio de uma régua graduada em 10 plantas aleatoriamente. Posteriormente foi realizada a média dos dez valores de cada parcela para determinar a altura média de cada parcela;

- Inserção média da altura da primeira vagem (cm) - (IPV): Em campo, , nas plantas de soja entre R2 e R3, com auxílio de uma régua graduada foram mensuradas nas mesmas plantas em que foram mensuradas a altura das plantas, a altura da

inserção da primeira vagem. Posteriormente foi feita a média das alturas de cada parcela;

f. Número de nódulos (un) - (NN): Após 40 dias do plantio, 3 plantas com raiz foram retiradas da bordadura, submetidas a lavagem com água e realizada a contagem de nódulos de cada planta;

g. Número de vagens (un) - (NV): Durante a fase de pré-colheita, foi realizada a contagem de vagens por planta de 10 plantas aleatórias e posteriormente foi realizada a média do número de vagens por planta de cada parcela experimental.

4.5 Análises estatísticas

Para cada ambiente, os dados coletados de todas as variáveis foram compilados e submetidos ao teste F da análise de variância, no qual foram realizadas com auxílio do software Genes (CRUZ, 2013) e AgroR (RODRIGUES, 2022), de acordo com os modelos estatísticos proposto por FISHER, 1935:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \varepsilon_{ij}, \text{ em que:}$$

Y_{ij} : valor da característica do i -ésimo tratamento no j -ésimo bloco;

μ : média geral do ensaio;

g_i : efeito do i -ésimo tratamento ($i = 1, 2, \dots, g$);

b_j : efeito do j -ésimo bloco ($j = 1, 2, \dots, r$); e

ε_{ij} : erro aleatório associado ao tratamento i e ao bloco j , $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

ANOVA em fatorial:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B/A_{jk} + A_j + G \times A_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} : valor da característica do i -ésimo tratamento no j -ésimo ambiente e k -ésimo bloco dentro do ambiente;

μ : média geral do ensaio;

G_i : efeito do i -ésimo tratamento ($i = 1, 2, \dots, g$);

B/A_{jk} : efeito do k -ésimo bloco dentro do j -ésimo ambiente ($k = 1, 2, \dots, r$);

A_j : efeito do j -ésimo ambiente ($j = 1, 2, \dots, a$);

$G \times A_{ij}$: efeito da interação entre o i -ésimo genótipo e o j -ésimo ambiente;

ε_{ijk} : erro aleatório associado à unidade experimental definida pelo tratamento i , ambiente j e bloco k , assumido como $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

As características AP de Londrina, AP e NN de Rio Verde, não atenderam a normalidade e foram realizadas a transformação: $\ln(x+k)$ pelo programa Genes para o atendimento das pressuposições e validação da ANOVA individual e em fatorial.

Posteriormente, foi realizado o teste de Tukey ($p < 0,10$) (TUKEY, 1949), no programa AgroR para comparação entre as médias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Condições climáticas das estações

Em Londrina, durante a condução do experimento, a média mensal da temperatura máxima manteve-se estável variando entre 29,7°C e 30,9°C (Figura 4). Em relação a precipitação, observou-se uma distribuição adequada até fevereiro, seguida por um declínio acentuado em março (Figura 4).

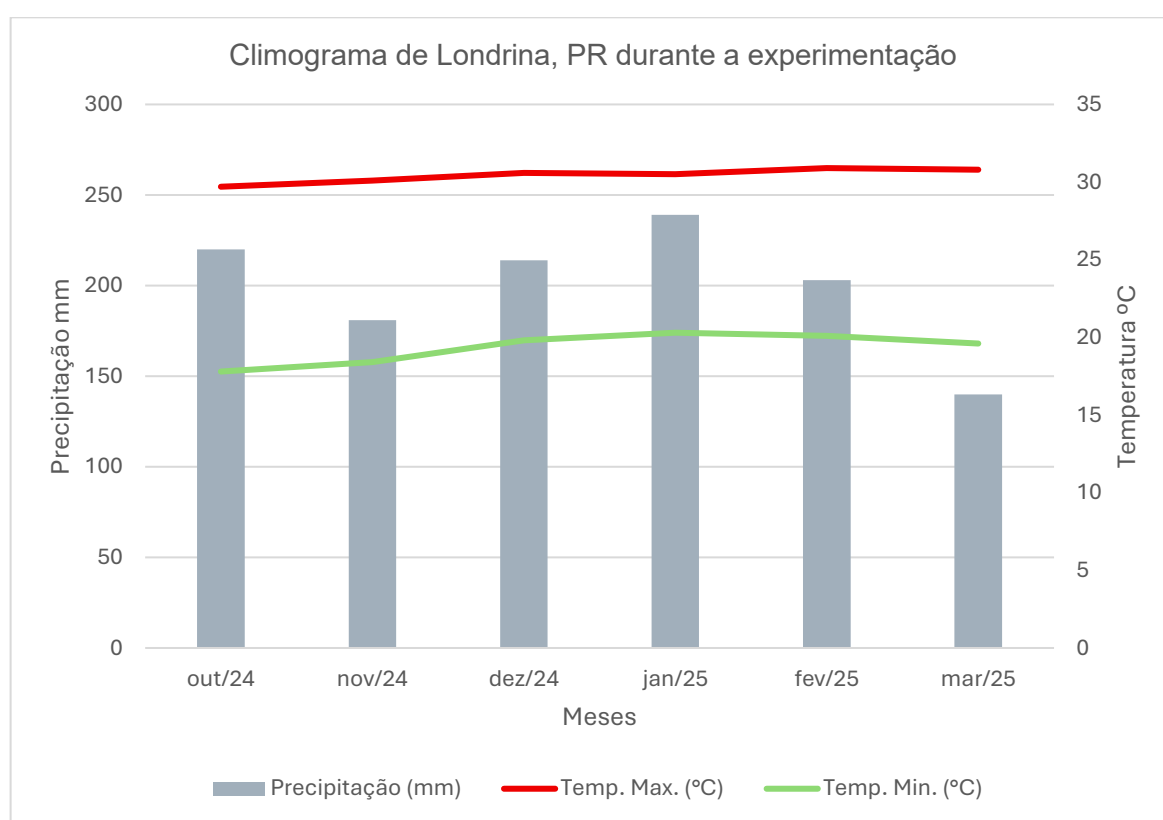


Figura 4 – Média mensal da precipitação e temperatura máxima e mínima em Londrina, PR durante a experimentação. Fonte: IDR Paraná.

Em Rio Verde, as condições climáticas apresentaram menor amplitude térmica ao longo do ciclo da soja. A temperatura máxima variou de 23,1 °C a 24,79 °C, enquanto as temperaturas mínimas oscilaram entre 21,7 °C e 22,65 °C (Figura 5). Assim como em Londrina, em Rio Verde a precipitação mensal foi elevada nos primeiros meses, atingindo o pico de 343,8 mm em janeiro, com redução gradativa e queda mais expressiva em março, quando foi registrado 100,2 mm (Figura 5).

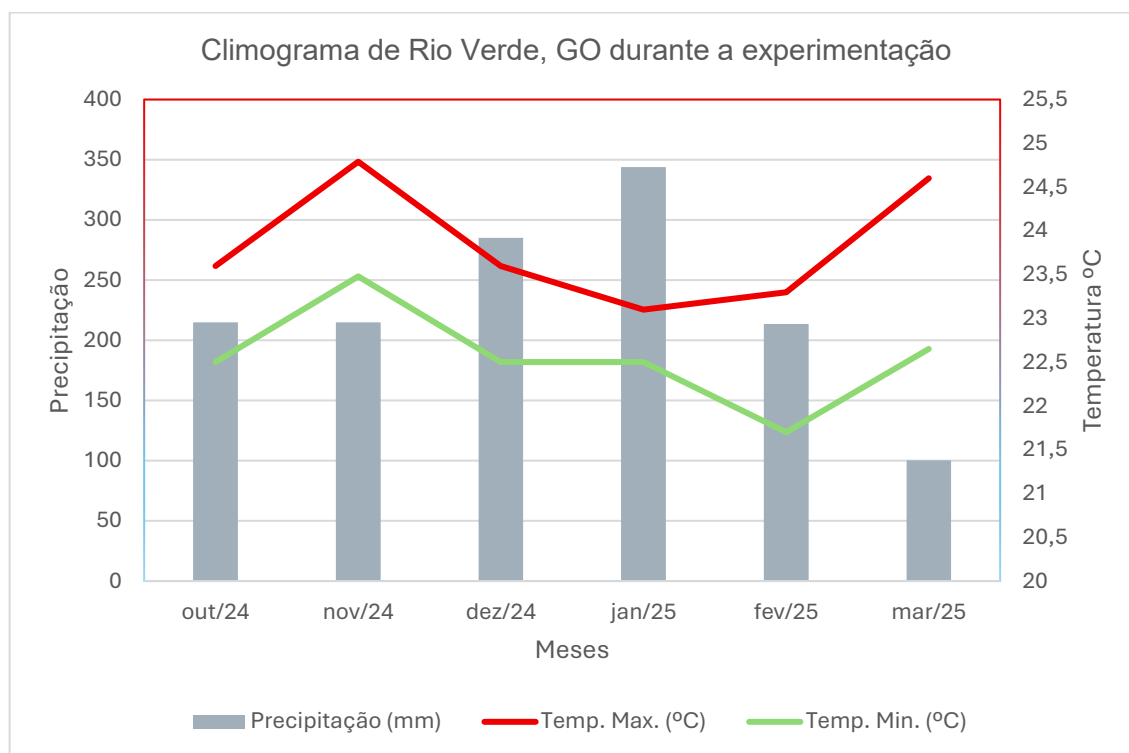


Figura 5 – Média mensal da precipitação e temperatura máxima e mínima em Rio Verde, GO durante a experimentação. Fonte: INMET

De maneira geral, em ambos os ambientes, o índice pluviométrico foi adequado para a cultura da soja, especialmente porque os maiores volumes de chuva coincidiram com os estados vegetativos, reprodutivos e de enchimento de grãos, períodos de maior exigência hídrica da planta.

5.2 Análise de variância

No que se refere a Londrina, a partir da análise de variância foi constatado que houve efeito significativo dos tratamentos sobre as características PROD, SACAS, NN, P1000, NV e IPV. Esses resultados indicam que ao menos um tratamento difere dos demais para as características avaliadas, o que sugere que a resposta da soja aos tratamentos tenha sido devido as interações entre os microrganismos inoculados e as condições edafoclimáticas locais, onde, o ambiente de Londrina ofereceu condições mais favoráveis para a expressão dos efeitos dos tratamentos, possivelmente devido à maior disponibilidade de água, temperatura mais amena, ou condições físico-químicas do solo que favoreceram tanto o estabelecimento dos microrganismos quanto a nodulação. Já para AP não foi constatado diferença estatística (Tabela 5).

Para o coeficiente de variação (CV), de acordo com Pimentel-Gomes (2009), quanto menor o valor, maior a precisão do experimento. Para Guilherme et al., (2002) para a cultura da soja é considerado aceitável apenas valores abaixo de 16% para produtividade e coeficientes de 1%, 5% e 10% com excelente, boa e média precisão experimental, respectivamente. Tais parâmetros foram atendidos para as variáveis mensuradas no experimento de Londrina, com os coeficientes variando de 2,15% a 12,35%, considerados de baixos a moderados para experimentos agrícolas, o que confirmam a solidez experimental e indicam que a variabilidade residual foi minimizada, permitindo maior confiabilidade na detecção de diferenças reais entre tratamentos. O CV elevado para NV (29%), mas ainda assim adequado para características quantitativas, mensuradas em experimentos a campo (SCAPIM et al., 1995; PIMENTEL-GOMES, 2009) sugere que essa variável é inerentemente mais sujeita a flutuações ambientais e fisiológicas, possivelmente devido à dependência de processos reprodutivos, que respondem a estímulos múltiplos além da inoculação.

Para o experimento conduzido em Rio Verde, as variáveis PROD, SACAS, IPV e NV foram estatisticamente significativas, demonstrando que ao menos um dos tratamentos influenciou de forma diferenciada as plantas de soja. Já P1000, AP e NN não foi constatado diferença significativa entre os tratamentos. Quanto ao CV encontrado, para as características que apresentaram diferença estatística, os mesmos variaram de 10 a 12%, apresentando coeficientes de variação medianos.

Tabela 5 – Estimativas dos quadrados médios, médias e coeficientes de variação de sete características avaliadas na soja, em Londrina, PR e Rio Verde, GO.

Local	Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios						
			PROD (kg ha ⁻¹)	SACAS (sc ha ⁻¹)	P1000 (g)	AP (cm)	IPV (cm)	NN (un)	NV (un)
LD	Bloco	7	301955,43	83,877	305,90	0,0099	2,6071	1,7024	740,02
	Trat	5	463712,44*	128,81*	474,69*	0,0042 ^{ns}	32,35***	3,433*	1045,47*
	Resíduo	35	221468,98	61,519	144,80	0,0042	6,4928	1,6238	402,24
	Média	-	4673,43	77,86	202,94	4,6292	23,625	20,208	67,146
	CV %	-	10,07	10,07	5,93	1,40	10,79	6,31	29,87
RV	Bloco	7	498558,12	138,49	331,74	0,0108	2,6071	0,00376	69,926
	Trat	5	1113997,14**	309,45**	158,28 ^{ns}	0,0046 ^{ns}	32,35***	0,00811 ^{ns}	1097,59***
	Resíduo	35	426795,72	118,55	141,01	0,0045	6,4928	0,00436	35,654
	Média	-	6031,2868	100,52	202,90	4,5892	20,625	3,091	49,188
	CV %	-	10,83	10,83	5,85	1,47	12,35	2,15	12,14

LD: Londrina, PR; RV: Rio Verde, GO; FV: Fator de variação; GL: Grau de liberdade; PROD: Produtividade; P1000: Peso de 1000 grãos; AP: Altura da planta; IPV: Inserção da primeira vagem; NN: Número de vagens; CV: Coeficiente de variação; ***, **, * níveis de significância a 1%, 5% e 10% respectivamente de probabilidade pelo teste F.

Para P1000 como houve diferença significativa apenas em Londrina, sugere-se que o ambiente possa ter influenciado de forma diferente a resposta dessa variável. A ausência de diferença em Rio Verde pode estar relacionada às condições climáticas distintas, como temperatura e disponibilidade hídrica, que interferem no enchimento de grãos e na expressão do potencial genético da cultura, assim como pode justificar para a característica NN onde também só apresentou diferença significativa em Londrina.

A variável AP não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos em nenhum dos ambientes avaliados, indicando que a co-inoculação não alterou o crescimento em altura da parte aérea da soja, o que já foi relatado por Zuffo et al, (2015), onde confirma que a co-inoculação raramente promovem alterações morfológicas expressivas na parte aérea. Esse comportamento é comum em estudos nos quais o efeito das bactérias promotoras se manifesta principalmente em parâmetros relacionados à nodulação e produtividade, mais do que em características morfológicas de crescimento o que é o caso na associação de *H. seropedicae* e *B. japonicum*, cuja atuação se dá majoritariamente por mecanismos fisiológicos e bioquímicos que otimizam a eficiência simbiótica e a alocação de recursos reprodutivos, impactando de forma mais direta o desempenho produtivo da soja.

Para a característica NV, também foi observado diferença significativa para Londrina e Rio Verde respectivamente, podendo estar relacionado ao melhor desempenho reprodutivo das plantas. Esse incremento pode ser consequência de maior disponibilidade de nitrogênio no sistema, tanto pela fixação simbiótica quanto pela ação promotora de crescimento de *H. seropedicae*, resultando em maior formação de estruturas reprodutivas e potencial produtivo.

5.2 Análise de variância em fatorial

A partir do resumo da análise de variância em fatorial ($P > 0,05$) observa-se que houve efeito significativo da interação Tratamento x Ambientes (Trat x Amb) apenas para as características P1000 e NV (Tabela 6), sugerindo que essas características foram mais sensíveis ao ambiente de cultivo, sendo influenciados principalmente por condições hídricas e temperatura durante a fase de enchimento de grãos. Quanto as demais características, produtividade, sacas, inserção da primeira vagem e número de nós, não foi constatado interação Trat x Amb significativa, sugerindo que o

ambiente influenciou da mesma forma estas características (Optou-se por não apresentar o resultado da ANOVA em fatorial para estas características).

Tabela 5 – Estimativas em fatorial dos quadrados médios, médias e coeficientes de variação de duas características avaliadas na soja em Londrina, PR e Rio Verde, GO.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		P1000 (g)	NV (un)
BL/Amb	14	318,82	404,97
BL	7	172,61	571,29
BLxAmb	7	465,03	238,66
Trat	5	272,7 ^{ns}	239,06 ^{ns}
Amb	1	0,028 ^{ns}	7740 ^{***}
TratxAmb	5	360,28 ^{**}	1903,99 ^{***}
Amb/Trat C ⁻	1	37,98	2626,56
Amb/Trat C1	1	13,01	264,06
Amb/Trat C2	1	486,42 [*]	6972,25 ^{***}
Amb/Trat Bac1	1	671,59 ^{**}	2997,56 ^{***}
Amb/Trat Bac2	1	397,90 [*]	3969,0 ^{***}
Amb/Trat Bac 3	1	194,53	430,56
Resíduo	70	142,91	373,81
Média	-	202,92	58,17
CV (%)	-	5,89	33,24

GL: Grau de liberdade; P1000: Peso de 1000 grãos; NV: Número de vagens; BL: Bloco; Amb: Ambiente; Trat: Tratamento; CV: Coeficiente de variação; ***, ** e * níveis de significância a 1%, 5% e 10% respectivamente de probabilidade pelo teste F.

O desdobramento da interação Amb/Trat evidenciou quais dos tratamentos foram responsáveis pela significância na interação TratxAmb para P1000 e NV, demonstrando que o efeito dos tratamentos C2, Bac1 e Bac2 apresentaram efeito diferenciado nos dois ambientes de avaliação, para ambas as características, indicando maior sensibilidade às condições climáticas de Londrina e Rio Verde. Por outro lado, os tratamentos C⁻, C1 e Bac3 não apresentaram diferenças significativas nos dois ambientes, sugerindo maior estabilidade fenotípica, o que indica que esses tratamentos mantiveram desempenho semelhante independente das variações edafoclimáticas entre os ambientes.

5.3 Teste de média das características avaliadas

5.3.1 Londrina, PR

Foi constatado que a Bac3 proporcionou maior produtividade na soja (5100,01 kg ha⁻¹) (Tabela 7), que também proporcionou um incremento de 10 sc ha⁻¹ comparado

com o C1 (Figura 4) que obteve o pior desempenho, indicando que a co-inoculação influenciou positivamente no rendimento da soja, sugerindo que a associação entre *H. seropedicae* e *B. japonicum* (Bac3) pode ter atuado como potencializador do crescimento e acúmulo de biomassa e, possui melhor desempenho do que apenas a utilização de *B. japonicum* (C1). Para P1000 a Bac3 obteve o melhor desempenho, sendo estatisticamente igual aos C2 e Bac 2.

Para AP NN, não houve diferença significativa entre os tratamentos, assim como já observado pela ANOVA. No entanto, houve diferença para IPV, destacando-se principalmente o tratamento Bac3 e C1 com as maiores médias (24,75 e 26,75 cm, respectivamente). Este resultado possivelmente se deve ao estímulo de crescimento radicular e parte aérea proporcionado pela associação. Do ponto de vista agrônomo, plantas com maior altura de inserção facilitam a colheita mecanizada e reduzem perdas por corte inadequado do cabeçote. Estudos experimentais demonstraram menor perda de grãos em variedades que apresentaram maior primeira vagem (BOMTEMPO, 2021). No que diz respeito a NV, os tratamentos C2 e Bac2 obtiveram as maiores médias com 84,50 e 72,50 unidades, respectivamente, sendo estatisticamente diferentes do C1.

Tabela 6 - Médias das características produtividade (PROD), sacas (SACAS) peso de 1000 grãos (P1000), altura da planta (AP), inserção da primeira vagem (IPV), número de nós (NN) e número de vagens por planta (NV).

Local	Trat	PROD (kg/ha)	SACAS (Prod/60kg)	P1000 (g)	AP (cm)	IPV (cm)	NN (un)	NV (un)
LD	C-	4496 ab	74,94 ab	202,38 ab	4,64 a	21,38 b	20,75 a	65,13 ab
	C1	4426 b	73,77 b	201,88 ab	4,61 a	24,76 ab	19,38 a	56,88 b
	C2	4664 ab	77,73 ab	195,38 b	4,65 a	21,63 b	20,76 a	84,50 a
	Bac1	4765 ab	79,41 ab	208,88 ab	4,63 a	23,38 ab	20,50 a	70,88 ab
	Bac2	4590 ab	76,49 ab	194,63 b	4,65 a	23,88 ab	20,50 a	72,50 ab
	Bac3	5100 a	85,00 a	214,50 a	4,60 a	26,78 a	19,38 a	53,00 b
RV	C-	5501 b	91,68 b	199 a	4,60 a	18,38 b	3,11 a	39,50 b
	C1	5977 ab	99,62 ab	204 a	4,57 a	21,78 ab	3,06 ab	65,00 a
	C2	6196 ab	103,26 ab	206 a	4,61 a	18,63 b	3,09 ab	42,75 b
	Bac1	5734 ab	95,57 ab	196 a	4,59 a	20,38 ab	3,07 ab	43,50 b
	Bac2	6250 ab	104,16 ab	205 a	4,61 a	20,88 ab	3,07 ab	41,00 b
	Bac3	6530 a	108,84 a	208 a	4,55 a	23,75 a	3,01 b	63,38 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna são iguais estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade; C-: controle negativo; C1: controle positivo 1; C2: controle positivo 2; LD: Londrina, PR; RV: Rio Verde, GO.

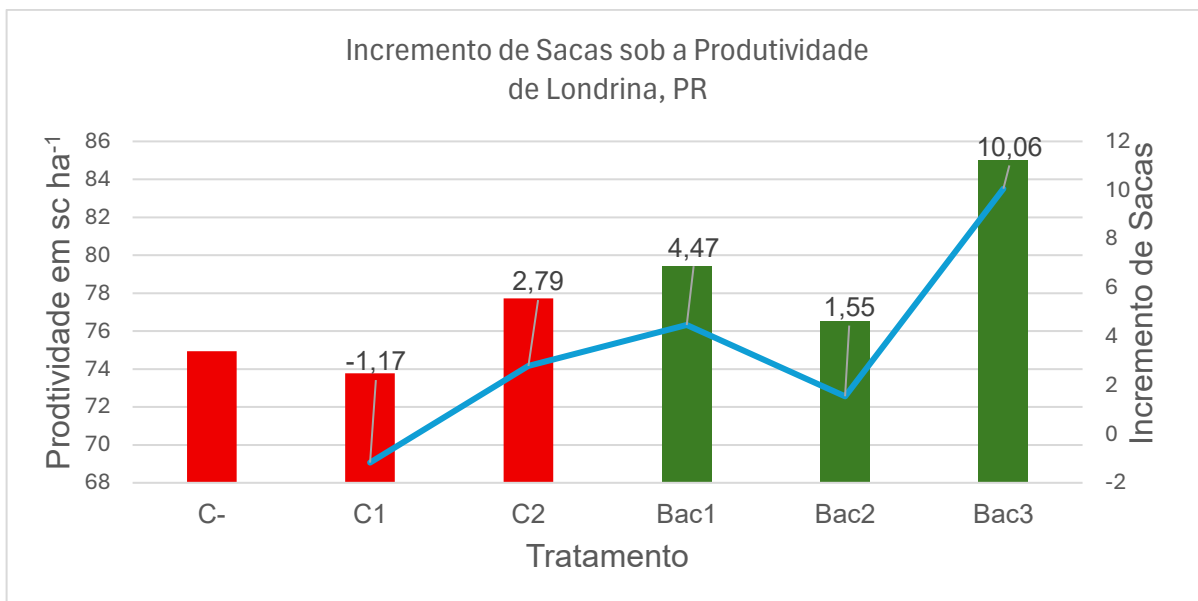


Figura 6 – Incrementos de sc ha⁻¹ comparado cm o C-. Londrina, PR.

5.3.2 Rio Verde, GO

Para a variável PROD, o tratamento que apresentou a maior média foi a Bac3 (6530 kg ha⁻¹), obtendo um incremento de 17 sc ha⁻¹ (Figura 7) em relação ao tratamento de menor média, (C-) com produtividade de 5501 ka ha⁻¹. Para as características P1000 e AP não houve diferença entre as médias, podendo indicar que o ganho da produtividade está mais relacionado ao aumento no número de estruturas reprodutivas do que no enchimento dos grãos (Tabela 7).

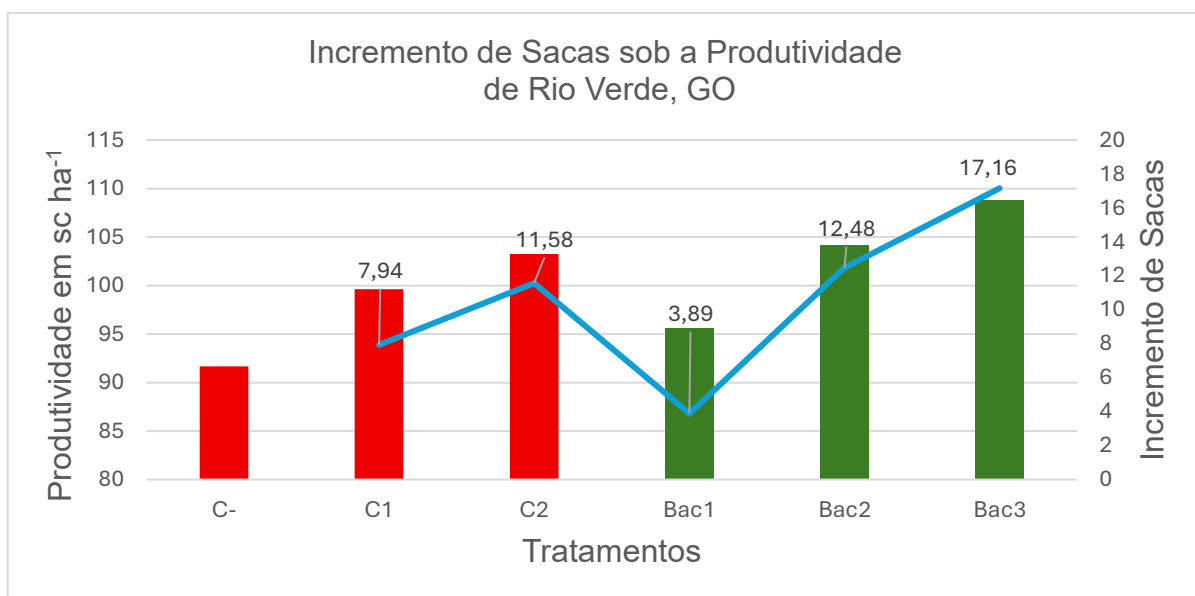


Figura 7– Incremento de sc ha⁻¹ comparado com o C-. Rio Verde, GO.

No que se refere a IPV, a Bac3 se destaca por ter apresentado a maior média (23,75 cm), estatisticamente igual aos tratamentos Bac1, Bac2 e C1 (20,38; 20,88; e 21,78, respectivamente) . Esse aumento na IPV pode ser atribuído à melhoria na fixação biológica de nitrogênio e ao maior estímulo no desenvolvimento radicular, conforme relatado por Zuffo et al. (2015), que observaram resposta semelhante em cultivares de soja submetidas à co-inoculação com *A. brasilense* e *B. japonicum*. Quanto ao NN, a maior média apresentada foi referente ao C- (3,11 unidades), no entanto é igual estatisticamente às Bac1 e Bac2 que obtiveram médias iguais a 3,07 unidades (Tabela 7).

Quanto ao NV, os tratamentos Bac3 e C1 apresentaram as maiores médias (65 e 63,38 unidades, respectivamente), diferenciando dos demais tratamentos, que obtiveram as menores médias.

6. CONCLUSÕES

- a) A co-inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e *Herbaspirillum seropedicae* demonstrou potencial agronômico para continuidade dos estudos, por possuírem desempenho igual ou superior ao das testemunhas comerciais para a maioria das características avaliadas nos dois ambientes experimentais;
- b) Os resultados demonstram que, especialmente, a cepa Bac3, promoveu benefícios à cultura da soja, com destaque para produtividade, peso de 1000 grãos e número de vagens. Esse resultado indica maior eficiência simbiótica e possível interação positiva entre as cepas Hs01 + Hs02 na presença de *B. japonicum* (Bac3).
- c) Os resultados obtidos reforçam a contribuição da co-inoculação para ampliar a eficiência da fixação biológica e melhorar o desempenho da cultura da soja, especialmente quando associada a condições ambientais favoráveis, manejo adequado de solo e utilização de cepas altamente eficientes.

7. REFERÊNCIAS

- AGRO BAYER. Saiba o que é e como fazer a fixação biológica de nitrogênio. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/conteudos/saiba-o-que-e-e-como-fazer-a-fixacao-biologica-de-nitrogenio>. Acesso em: 17 nov. 2025.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, A. C. O. et al. A importância da fixação biológica para a cultura da soja. In: XXIX Congresso de Iniciação Científica; 6ª Semana Integrada, 19., 2020, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2020. 4 p. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siiepe/anais/2020/cic/CA_01038.pdf. Acesso em: 17 nov. 2025.
- ARCENIO, A. Soja no Brasil: origem, evolução e importância econômica. **Mais Agro | Syngenta**, 2024. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/tudo-sobre-agro/soja-no-brasil-origem-evolucao-e-importancia-economica/>. Acesso em: 17 nov. 2025.
- BALDANI, J. I. et al. Characterization of *Herbaspirillum seropedicae* gen. nov., sp. nov., a root-associated nitrogen-fixing bacterium. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 36, p. 86–93, 1986.
- BALDANI, J. I. et al. The art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants. In: **Biological Nitrogen Fixation**. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2014.
- BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants. In: **Biological Nitrogen Fixation**. Dordrecht: Springer, 2005.
- BATISTA, R. L. A. **Fixação simbiótica de nitrogênio na cultura da soja**. 2021. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2021.
- BERRUEZO, L. A.; OLDROYD, G. E. D.; POPOV, G. V. **Enacting partner specificity in legume–rhizobia symbioses**. **Current Opinion in Plant Biology**. v. 79, p. 102487, 2024. DOI: 10.1016/j.pbi.2024.102487.

BOMTEMPO, G. L.; MATSUO, É.; ODA, M. C. Vegetative and productive performance of two soybean cultivars at different plant densities. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 7, p. 1–12, 2021.

CHEN, Y.; NELSON, R. L. Genetic variation and relationships among cultivated, wild, and semiwild soybean. **Crop Science**, v. 44, n. 1, p. 316–325, 2004.

CLIMATE REPORT – GOIÂNIA. Climate Report. Disponível em: https://www.statsclimat.com/Latin-America-and-the-Caribbean/Brazil/report_Goiania?. Acesso em: 01 dez. 2025.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n. 13, nov. 2025.

CONRADO, M. et al. **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 550 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1147044/1/cap-8-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

COSTA, M. M. M. N. **Fixação biológica de nitrogênio: uma revisão**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2023. 34 p.

CRUZ, C. D. GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum – Agronomy**, v. 35, n. 3, 2013.

DALL'AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. Londrina: Embrapa Soja, 2016.

DINIZ, F. Ciência amplia escopo da fixação biológica de nitrogênio no Brasil. FEBRAPDP. Disponível em: <https://www.plantiodireto.org.br/ciencia-amplia-escopo-da-fixacao-biologica-de-nitrogenio-no-brasil>. Acesso em: 17 nov. 2025.

EMBRAPA. Características da soja. **Agência de Informação Tecnológica**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica>. Acesso em: 12 nov. 2025.

EMBRAPA. Fixação biológica de nitrogênio. **Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/nota-tecnica>. Acesso em: 14 nov. 2025.

EMBRAPA. **Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF, 2023.

FERREIRA, E.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. **Manual de análises de bioinsumos para uso agrícola: inoculantes**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 164 p.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, n. 73, 2018. DOI: 10.1186/s13568-018-0608-1.

GOMES, F. et al. Inoculação e co-inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, 2020.

GONÇALVES, L. S. A. **A evolução dos rizóbios: genética, adaptação e especialização na simbiose com leguminosas**. Publicação em rede social (LinkedIn), 2025. Disponível em: https://www.linkedin.com/posts/leandro-sim%C3%B5es-azevedo-gon%C3%A7alves-63474276_a-evolu%C3%A7%C3%A3o-dos-riz%C3%B3bios-gen%C3%A9tica-adapta%C3%A7%C3%A3o-activity-7292570385122787328-07lx. Acesso em: 05 dez. 2025.

GUILHERME, C. et al. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 187–193, 2002.

HIRAKURI, M. et al. Evolução. **Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica>. Acesso em: 05 nov. 2025.

HUNGRIA, M. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; NOGUEIRA, M. A. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja: bases científicas e manejo**. Londrina: Embrapa Soja, 2001.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation with selected strains of *Bradyrhizobium japonicum* and *Herbaspirillum seropedicae* in soybean. **Applied Soil Ecology**, v. 62, p. 104–113, 2013.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 08 dez. 2025.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-PARANÁ). **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em: 08 dez. 2025.

KABA, J. S. et al. Atmospheric nitrogen fixation by gliricidia trees intercropped with cocoa. **Plant and Soil**, v. 435, p. 323–336, 2019.

KOPPEN, W. Das Geographische System der Klimate. In: **Handbuch der Klimatologie**. Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 1936.

LI, Y.-H. et al. Genetic diversity in domesticated soybean (*Glycine max*) and its wild progenitor (*Glycine soja*). **New Phytologist**, v. 188, n. 1, p. 242–253, 2010.

MASSON-BOIVIN, C.; SACHS, J. L. Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 44, p. 7–15, 2018.

MATEUS, A. et al. **Coinoculação da soja com Bradyrhizobium e Azospirillum na safra 2021/2022 no Paraná**. Circular Técnica. Londrina: Embrapa Soja, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1150565/1/Circ-Tec-190.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2025.

MONTEIRO, R. A. et al. Genome sequencing of *Herbaspirillum seropedicae*. **BMC Genomics**, v. 13, p. 429, 2012.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), 2019.

OLIVEIRA, A. et al. Causas do desenvolvimento. **Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/socioeconomia/causas-do-desenvolvimento>. Acesso em: 17 out. 2025.

OLIVEIRA, J. G. R. et al. **Conhecendo os solos das mesorregiões norte central e norte pioneiro do Paraná**. Cornélio Procópio, PR: NEPAR-SBCS, 2024. v. 1.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. 1. ed. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

RECIMA21. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 5, n. 1, p. e514762, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v5i1.4762. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/4762>. Acesso em: 17 nov. 2025.

RETORE, Y. I. **Solubilização de fósforo por *Bacillus velezensis* na cultura do milho em diferentes ambientes de produção**. 2024. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biotecnologia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

RODRIGUES, G. **AgroR: Analysis of Experiments Designed in Agriculture**. Versão 1.6.5. 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=AgroR>. Acesso em: 14 set. 2025.

SCAPIM, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para experimentos com híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 683–686, 1995.

SEIXAS, C. D. S. et al. **Tecnologias de Produção de Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p.

SILVA, A. et al. A relação do nitrogênio com o desenvolvimento das plantas e suas formas de disponibilidade. **Recima21**, v. 5, n. 1, p. e514762, 2023.

SOUZA, R.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and Molecular Biology**, v. 38, n. 4, p. 401–419, 2015.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 5, n. 2, p. 99–114, 1949.

YANG, Q.; LIN, G.; LV, H.; WANG, C.; YANG, Y.; LIAO, H. Environmental and genetic regulation of plant height in soybean. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 1, p. 1–15, 2021. DOI: 10.1186/s12870-021-02836-7.

ZEFFA, D. M. et al. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on co-inoculation with *Bradyrhizobium* in soybean crop: a meta-analysis of studies from 1987 to 2018. **PeerJ**, v. 8, p. e7905, 2020. DOI: 10.7717/peerj.7905.

ZEFFA, D. M. et al. Productivity and plant growth of soybean inoculated with *Bradyrhizobium*. **Journal of Integrative Agriculture**, 2020.

ZUFFO, A. M. et al. Coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* na cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, 2015.