

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ

JEAN CARLOS DA FONSECA CARNEIRO

**BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO DO GÊNERO *BRADYRHIZOBIUM*
NAS CARACTERÍSTICAS FITOMÉTRICAS E COMPONENTES DE RENDIMENTO
DA SOJA**

IVAIPORÃ – PR

2024

JEAN CARLOS DA FONSECA CARNEIRO

**BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO DO GÊNERO *BRADYRHIZOBIUM*
NAS CARACTERÍSTICAS FITOMÉTRICAS E COMPONENTES DE RENDIMENTO
DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação de Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal do Paraná, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Denis Santiago da Costa.

IVAIPORÃ – PR

2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

Jean Carlos da Fonseca Carneiro

BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO DO GÊNERO *BRADYRHIZOBIUM* NAS CARACTERÍSTICAS FITOMÉTRICAS E COMPONENTES DE RENDIMENTO DA SOJA

O presente trabalho em graduação foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Documento assinado digitalmente
 **JHONATAN DIEGO CAVALIERI**
Data: 08/09/2024 17:32:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jhonatan Diego Cavalieri
Instituto Federal do Paraná – Campus Ivaiporã

Documento assinado digitalmente
 **JAQUELINE DA SILVA COELHO MOREIRA**
Data: 09/09/2024 15:51:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Jaqueline Coelho Moreira
Instituto Federal do Paraná – Campus Ivaiporã

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã.

Documento assinado digitalmente
 **DENIS SANTIAGO DA COSTA**
Data: 09/09/2024 16:26:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coordenação do Curso Engenharia Agrônoma
Prof. Dr. Denis Santiago da Costa
Siape: 1400880

Documento assinado digitalmente
 **DENIS SANTIAGO DA COSTA**
Data: 08/09/2024 16:49:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Denis Santiago da Costa (Orientador)
Siape: 1400880

Ivaiporã, 23 de agosto de 2024.

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus amados pais Antonio e Maria, e a minha irmã por todo apoio e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, por iluminar meu caminho até aqui e por sua constante presença em minha vida, me dando força e orientação.

Quero também agradecer de coração à minha família, especialmente aos meus queridos pais, Antonio Carlos A. Carneiro e Maria de Paula F. Carneiro, e a minha irmã Kellen Cristina F. Carneiro. Sou muito grato por sempre terem acreditado em mim e por oferecerem o suporte e a base familiar fundamentais para que eu pudesse chegar até este ponto. A confiança e o amor que recebo de vocês são verdadeiros presentes em minha trajetória. Também gostaria de agradecer aos meus pais por terem cedido o espaço na área de produção para a realização deste trabalho, demonstrando apoio e acreditando nos meus sonhos.

Quero dedicar meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, o professor Dr. Denis Santiago da Costa. Sou imensamente grato por todo o conhecimento que você compartilhou, por sua dedicação e pelo empenho em me apoiar na realização deste trabalho. Você demonstra a importância da dedicação ao estudo, sendo uma grande inspiração como profissional.

Agradeço a todos meus professores, que generosamente dividiram seu conhecimento valioso e contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento acadêmico. Agradeço também ao Instituto Federal do Paraná - Campus Ivaiporã pelo ambiente propício ao meu aprendizado durante o curso.

Agradeço a cooperativa Cocari pelo o fornecimento de dados e produtos que foram utilizados neste trabalho, em especial pela bonificação dos inoculantes para soja. Agradeço também aos colaboradores e agrônomos da Cocari, em especial agradeço a Beatriz Berto, Jaqueline Mortari e a Milene Volante.

Aos meus amigos e colegas de sala e curso, minha profunda gratidão pela companhia e pela oportunidade de vivenciarmos tantas experiências enriquecedoras nestes anos que passamos juntos. Em especial, agradeço a Andressa Salamaia, Carlos Semchechem, Douglas Miguel, Giovanni Berleze, Gustavo Batista, Jonas Cestaro, Luiza Scremin, Marcos Merico, Mario Romano e o Saul Neto, que me apoiaram e colaboraram nas atividades práticas deste trabalho.

“Nossa maior fraqueza está em desistir. A maneira mais certa de ter sucesso é sempre tentar mais uma vez”.

Thomas Edison

RESUMO

A soja (*Glycine max*) é umas das principais culturas plantadas no mundo, sendo dependente de uma grande demanda de nutrientes, o nitrogênio em maior quantidade. O nitrogênio presente nos solos Brasileiro não é suficiente para o desenvolvimento e os custos com a adubação nitrogenada com fertilizantes químicos na cultura são altos. A soja por se tratar de uma leguminosa, uma opção para fornecimento de nitrogênio é a otimização do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) através do uso de bactérias diazotróficas. O gênero *Bradyrhizobium* é o mais conhecido para a cultura da soja, sendo que várias espécies podem se associar ao cultivo da soja, cada um dentro das suas especificidades, incrementar o fornecimento de nitrogênio para a planta. Dada a eficiência do processo de FBN, é essencial investigar qual a espécie de *Bradyrhizobium* ou a melhor combinação de espécies para a produtividade da soja. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de inoculações isoladas e combinadas, em sementes de soja, com três espécies de bactérias diazotróficas (*Bradyrhizobium japonicum*, *Bradyrhizobium diazoefficiens* e *Bradyrhizobium elkanii*) sobre os componentes de rendimento e produtividade da cultura da soja. O experimento foi conduzido no Sítio Nossa Senhora da Aparecida, Lunardelli - PR. A implantação foi realizada no dia 16 de outubro de 2023, onde utilizou a cultivar Pioneer 96R10 IPRO. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC), sendo adotado 6 tratamentos e 4 repetições, totalizando 24 parcelas. Os tratamentos foram: T1 - testemunha, sem inoculação das sementes; T2 - inoculação com 100% *B. japonicum* e *B. diazoefficiens*; T3 - inoculação com 100% *B. elkanii*; T4 - inoculação com 50% *B. japonicum* e *B. diazoefficiens* + 50% *B. elkanii*; T5 - inoculação com 80% *B. japonicum* e *B. diazoefficiens* + 20% *B. elkanii*; T6 - inoculação com 20% *B. japonicum* e *B. diazoefficiens* + 80% *B. elkanii*, os tratamentos com inoculação foi realizado de modo que oferecesse 2.000.000 de bactérias viáveis por semente de soja. Os parâmetros avaliados foram índice de clorofila (SPAD); número de nódulos e massa seca; população final de plantas; altura de plantas; altura de inserção da primeira vagem; número de vagem por planta; número de grãos por planta; peso de mil sementes e produtividade. Os tratamentos inoculados constataram resultado significativo para as avaliações de massa seca total, número de vagens por planta e na produtividade. Conclui-se que a prática de inoculação das sementes de soja no momento de semeadura com bactérias diazotróficas (*B. japonicum*, *B. diazoefficiens* e *B. elkanii*) apresentam resultado significativo em relação a testemunha (não inoculada) resultando em um aumento de 14% na produtividade da soja quando inoculada, não demonstrando discrepância entre os tratamentos inoculados.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.); *Bradyrhizobium japonicum*; *Bradyrhizobium diazoefficiens*; *Bradyrhizobium elkanii*; Fixação biológica de nitrogênio.

ABSTRACT

Soybeans (*Glycine max*) are one of the main crops grown in the world, and they depend on a large demand for nutrients, especially nitrogen. The nitrogen present in Brazilian soils is not sufficient for development, and the costs of nitrogen fertilization with chemical fertilizers in the crop are high. Since soybeans are legumes, one option for supplying nitrogen is to optimize the biological nitrogen fixation (BNF) process through the use of diazotrophic bacteria. The *Bradyrhizobium* genus is the best known for soybean cultivation, and several species can be associated with soybean cultivation, each within its own specificities, to increase the supply of nitrogen to the plant. Given the efficiency of the BNF process, it is essential to investigate which *Bradyrhizobium* species or the best combination of species for soybean productivity. The objective of this work was to evaluate the effects of isolated and combined inoculations, in soybean seeds, with three species of diazotrophic bacteria (*Bradyrhizobium japonicum*, *Bradyrhizobium diazoefficiens* and *Bradyrhizobium elkanii*) on the yield and productivity components of the soybean crop. The experiment was conducted at Sítio Nossa Senhora Aparecida, Lunardelli - PR. The implementation was carried out on October 16, 2023, where the cultivar Pioneer 96R10 IPRO was used. The experimental design used was randomized blocks (DBC), with 6 treatments and 4 replications, totaling 24 plots. The treatments were: T1 - control, without seed inoculation; T2 - inoculation with 100% *B. japonicum* and *B. diazoefficiens*; T3 - inoculation with 100% *B. elkanii*; T4 - inoculation with 50% *B. japonicum* and *B. diazoefficiens* + 50% *B. elkanii*; T5 - inoculation with 80% *B. japonicum* and *B. diazoefficiens* + 20% *B. elkanii*; T6 - inoculation with 20% *B. japonicum* and *B. diazoefficiens* + 80% *B. elkanii*. The inoculation treatments were performed in such a way as to offer 2,000,000 viable bacteria per soybean seed. The parameters evaluated were chlorophyll index (SPAD); number of nodules and dry mass; final plant population; plant height; height of insertion of the first pod; number of pods per plant; number of grains per plant; weight of a thousand seeds and productivity. The inoculated treatments showed significant results for the evaluations of total dry mass, number of pods per plant and productivity. It is concluded that the practice of inoculating soybean seeds at the time of sowing with diazotrophic bacteria (*B. japonicum*, *B. diazoefficiens* and *B. elkanii*) presents a significant result in relation to the control (not inoculated) resulting in a 14% increase in soybean productivity when inoculated, demonstrating no discrepancy between the inoculated treatments.

Keywords: *Glycine max* (L.); *Bradyrhizobium japonicum*; *Bradyrhizobium diazoefficiens*; *Bradyrhizobium elkanii*; Biological nitrogen fixation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização físicas e químicas da amostra de solo no talhão do experimento localizado no município de Lunardelli – Paraná	15
Tabela 2 - Tratamentos estabelecidos para avaliar a eficiência da inoculação com bactérias do gênero <i>Bradyrhizobium japonicum</i> , <i>Bradyrhizobium diazoefficiens</i> e <i>Bradyrhizobium elkanii</i> na cultura da soja	19
Tabela 3 - Classificação dos estádios fenológicos da soja	25
Tabela 4 - Resumo do quadro de análise de características fitotécnicas do crescimento e desenvolvimento da soja como, População de plantas (POP), Índice de clorofila (SPAD), Massa seca total (MST), Número de nódulos (NN) e Massa seca total de nódulos (MN)	33
Tabela 5 - Resumo do quadro de análise de características fitotécnicas de produção da soja como, Altura de planta (ALT), Número de vagens por planta (NVP), Peso de mil sementes (PMS) e Produtividade (PROD)	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo geral	13
1.2.2	Objetivo específico...	13
2	DESENVOLVIMENTO	14
2.1	METODOLOGIA	14
2.1.1	Caracterização da área experimental	14
2.1.2	Implantação da lavoura e tratos culturais	15
2.1.3	Delineamento experimental e tratamentos	17
2.1.4	Parâmetros avaliados	20
2.1.4.1	Índice de clorofila (SPAD)	20
2.1.4.2	Massa da matéria seca da planta e número de nódulos	20
2.1.4.3	População final de plantas	20
2.1.4.4	Altura de plantas	21
2.1.4.5	Altura de inserção da primeira vagem	21
2.1.4.6	Número de vagem por planta (NVP)	21
2.1.4.7	Número de grãos por planta (NGP)	21
2.1.4.8	Peso de mil sementes (PMS)	22
2.1.4.9	Produtividade	22
2.1.5	Análise estatística	22
2.2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.2.1	Importância econômica do soja	23
2.2.2	Morfologia do soja	23
2.2.3	Fixação biológica de nutrientes (FBN)	26
2.2	Inoculação com bactérias <i>Bradyrhizobium</i>	27
3	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	31
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) uma leguminosa que teve sua domesticação no Extremo Oriente (China), onde sua disseminação pelo mundo ocorreu por meio de viagens marítimas. No Brasil teve sua chegada pelo estado da Bahia, onde cultivares inseridos pelos Estados Unidos tinham como o intuito inicialmente a produção de forragem para alimentação animal, porém esses cultivares não apresentaram boa adaptabilidade ao clima da região. Anos depois foi levada para o estado do Rio Grande do Sul apresentando bom desenvolvimento e adaptabilidade ao clima da região. Com o início do interesse científico e produção de novas variedades adaptadas ao clima subtropical e tropical do país, pela a introdução de genes nos materiais com tolerância ao fotoperíodo curto, a soja se tornou a principal cultura cultivada no Brasil, dando o título de maior produtor e exportador desta commodity agrícola. Atualmente a soja é uma das principais fontes de renda para o agronegócio brasileiro e do estado do Paraná.

A soja apresenta elevado valor no mercado agrícola, devido sua relevância como fonte de proteína, pode ser destinada para alimentação humana e animal, além de sua adaptabilidade para a produção de biocombustíveis, plásticos e solventes industriais.

A soja é uma planta pertencente à família das leguminosas, possuindo a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico do ar. Sendo uma planta ereta, herbácea e anual, com capacidade de autopolinização. Algumas características morfológicas podem ser influenciadas pelo ambiente, onde a soja apresenta hábito de crescimento dividido em, determinado, semi determinado ou indeterminado, dependendo das características do ápice principal do caule e da cultivar, sendo considerada uma planta de porte baixo. Seu sistema radicular é formado por raiz axial principal e raízes secundárias. Nas raízes da planta da soja, há formação de nódulos que resultam da simbiose entre a planta e bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, onde essas bactéria desempenham a importante tarefa de fixar o nitrogênio atmosférico (FBN) e disponibilizá-lo para a planta de forma assimilável de amônia, e recebem em troca hidratos de carbono.

O processo de FBN na cultura da soja desempenha papel importante na fixação do nitrogênio atmosférico, processo biológico mais significativo depois da fotossíntese. Esse processo pode ser feito por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que em simbiose com as raízes, formam os nódulos e capturam o nitrogênio do ar N_2 e o convertem em NH_3 . A FBN é a fonte de nitrogênio mais vantajosa para a cultura da soja, devido ao seu custo-benefício.

Na cultura da soja, a simbiose acontece com bactérias das espécies *Bradyrhizobium japonicum*, *B. diazoefficiens* e *B. elkanii* que são conhecidas popularmente como rizóbios, embora não sejam os únicos simbiontes da soja, são os mais utilizados na produção de inoculantes comerciais nas principais regiões produtoras do mundo. Nos inoculantes comerciais são encontrado quatro estirpes, entre elas estão a SEMIA 587 e SEMIA 5019 que são da espécie *B. elkanii*, sendo competitivas formando nódulos mais pesados, a SEMIA 5079 que é da espécie *B. japonicum*, a qual apresenta maior capacidade de FBN, e a SEMIA 5080 que é da espécie *B. diazoefficiens* apresenta maior capacidade de fixar nitrogênio mesmo com sombreamento (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2022).

No setor agrícola do Brasil, a adoção e implementação de técnicas sustentáveis na produção de soja, visando maximizar a fixação biológica de nitrogênio e o rendimento de grãos da cultura da soja, são de extrema importância. É comprovado que a prática de inoculação das sementes de soja, pode trazer um aumento significativo na produção dos grãos, tendo um ganho médio de 8 % no rendimento da produção de grãos em áreas já cultivadas (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2020).

Na safra 2022/23 a prática de inoculação na cultura da soja foi de 85% da área cultivada no Brasil. Já no estado do Paraná 73% da área cultivada com soja foi inoculada pelos produtores, conforme destacado pela ANPII (2023). Para uma boa inoculação das sementes é essencial oferecer um valor mínimo de 1,2 milhões de células viáveis por semente em áreas já cultivadas com soja e em áreas novas de cultivo de soja oferecer o dobro da dose 2,4 milhões de células viáveis por semente (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2014). A prática de inoculação é de baixo custo para o produtor e altamente benéfica para a cultura da soja, apresentando aumento na produtividade desse grão de importância global.

1.1 PROBLEMA

A cultura da soja depende de uma grande demanda de nutrientes, sendo o N em maior quantidade. Com isso, o N presente no solo não é suficiente e os custos com a adubação nitrogenada com fertilizantes químicos na cultura são altos.

Por se tratar de uma leguminosa, uma opção para fornecimento de nitrogênio é a otimização do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) através do uso de bactérias diazotróficas. O gênero *Bradyrhizobium* é o mais conhecido para a cultura da soja sendo que várias espécies podem se associar ao cultivo da soja, cada um dentro das suas

especificidades, incrementar o fornecimento de nitrogênio para a planta.

Dada a eficiência do processo de FBN, é essencial investigar qual é a espécie de *Bradyrhizobium* ou a melhor combinação de espécies para a produtividade da soja.

1.2 HIPÓTESE

H_0 – não há incrementos nos componentes de rendimento e produtividade da soja quando ocorre a inoculação isolada ou combinada de diferentes gêneros de *Bradyrhizobium*.

H_a – existe pelo menos um incremento nos componentes de rendimento e produtividade da soja quando ocorre a inoculação isolada ou combinada de diferentes gêneros de *Bradyrhizobium*.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste ensaio foi avaliar os efeitos de inoculações isoladas e combinadas, em sementes de soja, com três espécies de bactérias diazotróficas (*Bradyrhizobium japonicum*, *B. diazoefficiens* e *Bradyrhizobium elkanii*) sobre os componentes de rendimento e produtividade da cultura da soja.

1.3.2 Objetivo específicos

Os objetivos específicos para avaliar a inoculação foram:

- Avaliar características fitotécnicas do crescimento e desenvolvimento da soja como altura de planta, inserção da primeira vagem, índice SPAD, matéria seca;
- Quantificar características fitotécnicas de produção, como número de vagens por planta, sementes por vagem, PMS e produtividade.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 Caracterização da área experimental

A área experimental do ensaio em campo foi o Sítio Nossa Senhora Aparecida, localizada no município de Lunardelli – PR, com sua localização geográfica situada em latitude de 24°06'14"S e 51°45'13"O de Greenwich, com elevação de 486 m em relação ao nível do mar. De acordo com mapa de solo do Estado do Paraná, o solo predominante da área é classificado como NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos (BHERING *et. al.*, 2007 e 2009) e o clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é o Cfa (clima subtropical úmido, com verões quentes) (ALVARES *et. al.*, 2013). Conforme dados do IAT, (2024) na cidade vizinha, Jardim Alegre, a média de precipitação nos últimos 5 anos (2019-2023) foi de 1430,8 mm, e durante o período do ensaio (outubro/2023 a março/2024) foi de 882,8 mm.

O experimento foi instalado em uma área homogênea, que havia sido cultivada lavoura branca nos últimos 5 anos consecutivos (soja na safra de verão, trigo e milho na safra de inverno). Antes da implantação do ensaio foi realizada a amostragem de solo na camada de 0-20 cm para a realização da análise química e física. Os dados referentes aos resultados da análise do solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização físicas e químicas da amostra de solo no talhão do experimento localizado no município de Lunardelli – Paraná

Características físicas					
Argila (%)		Silte (%)		Areia (%)	
68		28		4	
Características químicas					
MO (%)	P - H₂PO₄ (mg/dm³)	pH CaCl₂	pH SMP	Al³⁺ (cmolc/dm³)	H (cmolc/dm³)
3,1	3,8	5,0	5,9	0	5,23
Ca²⁺ (cmolc/dm³)	Mg²⁺ (cmolc/dm³)	K⁺ (cmolc/dm³)	Na⁺ (cmolc/dm³)	CTC_{efetiva} (cmolc/dm³)	CTC_{pH 7,0} (cmolc/dm³)
10,2	2,1	0,10	0,04	12,5	17,7
V (%)	Mn²⁺ (mg/dm³)	Zn²⁺ (mg/dm³)	CU²⁺ (mg/dm³)	B - H₃BO₃ (mg/dm³)	S - SO₄²⁻ (mg/dm³)
70	270,5	9,1	18,0	0,28	9,2

Metodologia: Ca, Mg e Al = Cloreto de Potássio; P, K, Na, Mn, Zn e Cu = Mehlich 1; M.O = Walkey Black.

2.1.2 Implantação da lavoura e tratos culturais

Para a correção de solo do experimento foi utilizado uma semeadora-adubadora Planti Center, modelo New Line PC-7/4, com espaçamento de 0,45m, equipada como disco de corte de palhada, facão sulcador para distribuição do adubo, disco duplo para distribuição da semente e com rodas controladoras de profundidade da semente. Para tracionar a semeadora-adubadora foi utilizado um trator New Holland, modelo T1.75e, com 76 cv de potência @2.400 rpm. Por meio da semeadora-adubadora foi realizada a distribuição de 300 kg por hectare do formulado Yoorin 02-15-10 (N-P₂O₅-K₂O) e realizado a marcação das linhas de semeadura.

A semeadura da cultura da soja foi realizada no dia 16 de outubro de 2023, logo após a distribuição do adubo de base descrito anteriormente. A cultivar implantada foi a Pioneer 96R10 IPRO, com tratamento industrial: Clorantraniliprole (57,14%); Fipronil (28,57%); Ipconazol e Tiram (14,29%); polímeros e pó secante. Esse cultivar possui ciclo

precoce e ajustado para o Paraná com maturidade relativa de 6.1, com elevado potencial produtivo e boa sanidade foliar.

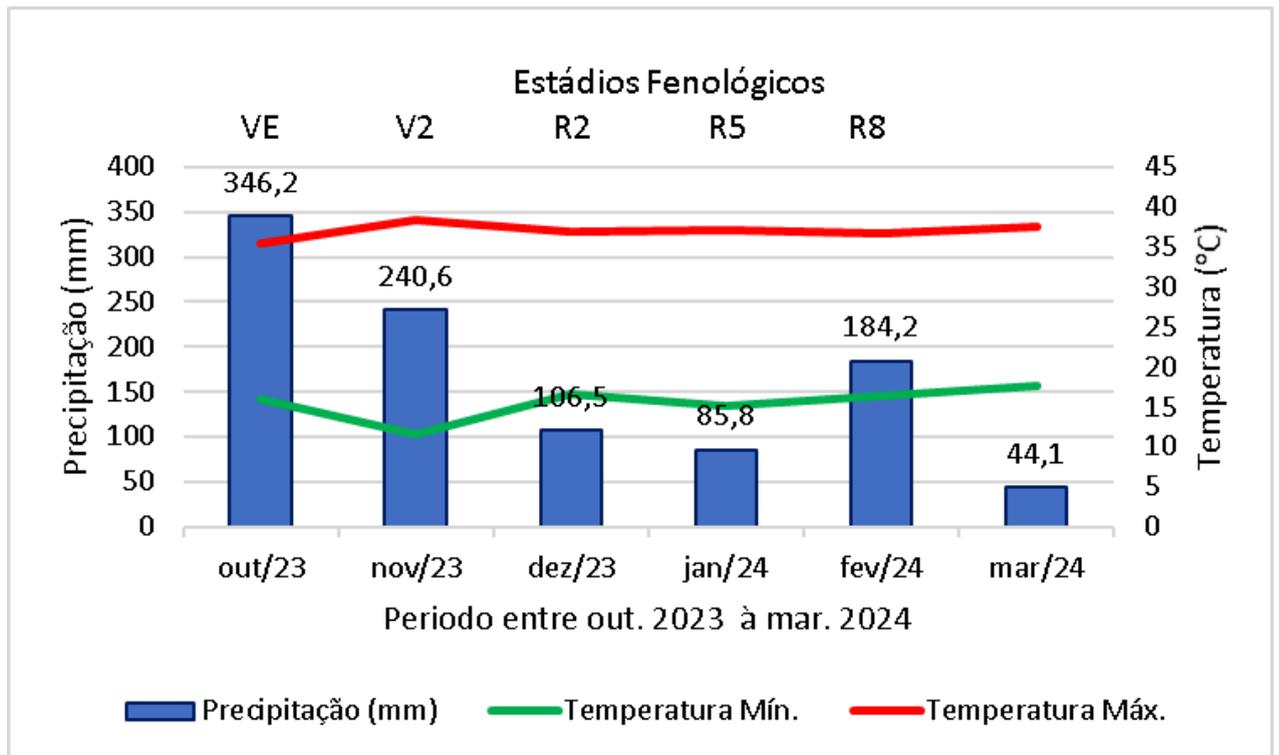
A distribuição das sementes após estabelecidos os tratamentos (Tabela 3), foi realizada manualmente por meio de um gabarito de madeira, com deposição de 15 sementes por metro linear, sendo desejado uma densidade de semeadura final de 12 sementes por metro linear. As sementes foram posicionadas a uma profundidade de três centímetros e em seguida o sulco fechado manualmente.

Na área os tratos culturais foram efetuados conforme as recomendações técnicas efetuadas pelo Engenheiro Agrônomo responsável pela propriedade, sempre levando em consideração as necessidades específicas da cultura da soja. Com relação ao manejo 20 dias antes da semeadura foi realizada a dessecação com herbicidas para o controle de plantas daninhas, utilizou adjuvante, glifosato, ácido de 2,4-D e óleo mineral. Após a semeadura com as plantas já estabelecidas foram realizadas durante todo o ciclo da cultura 4 aplicações de defensivos agrícolas para garantir um manejo adequado. A primeira aplicação de herbicida para controle de plantas daninhas e com fungicida foi realizada no estágio V3, onde utilizou adjuvante, glifosato, propiconazol + difenoconazol, óleo mineral, e Co-Mo Platinum®. A segunda aplicação com fungicidas, foi realizada no estágio R1, onde utilizou adjuvante, fluxapiroxade + protioconazol, trifloxistrobina + ciproconazol, óleo mineral, e Biozyme®. A terceira aplicação com fungicidas, inseticida e acaricida, foi realizada no estágio R4, onde utilizou adjuvante, fluxapiroxade + piraclostrobina, clorotalonil, bifentrina + carbosulfano, abamectina, óleo mineral, e o FortNPK® para enchimento dos grãos. A quarta aplicação com fungicidas e inseticida, foi realizada no estágio R5.2, onde utilizou adjuvante, picoxistrobina + ciproconazol, sulfoxaflor + lambda-cialotrina + nafta aromática e óleo mineral. Todas as aplicações foram feitas tratorizadas utilizando um pulverizador da marca Gauruss de três pontos 800 litros, aplicando com um volume de calda de 120 l/ha, com bico leque verde modelo ADGA - 015 magnojet espaçados à 50 cm entre bicos e mantendo-se a barra a 50 cm de altura acima do ápice da planta. No controle de pragas foi realizado sempre quando atingiu o nível de controle, onde foi necessário o controle de percevejos (*Euschistus heros*) e ácaro branco (*Polyphagotarsonemus latus*). No controle preventivo de doenças, foram feitas quatro aplicações de fungicidas preventivos para ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*).

Durante o ensaio, a coleta dos dados de precipitação das chuvas e temperatura foi realizado por meio de uma estação pluviométrica, localizada na unidade de recebimento

de grãos da Cocari no município de Lunardelli, com sua localização geográfica situada em latitude de 24°05'03"S e 51°44'31"O de Greenwich. Devido à proximidade entre a propriedade do ensaio (distância de 2,2 km) e está situada na mesma cidade, optou-se por utilizar os dados de precipitação coletados e descritos nos (Gráfico 1).

Gráfico 1. Precipitação de chuvas e temperaturas mínima e máxima durante o período do ensaio (outubro/22 a março/24).



2.1.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC), sendo adotado 6 tratamentos com 4 repetições, totalizando 24 parcelas experimentais (Figura 1). A área total do experimento foi de 390 m² (15 m x 26 m) e as parcelas constituídas de 4 metros de comprimento por 3.15 metros de largura, totalizando 12.6 m² por parcela, tendo uma área útil 6,50 m² no centro da parcela.

Figura 1 - Delineamento da área experimental

Blocos	Disposição dos tratamentos na área experimental						
A	T2	T4	T6	P u l v e r i z a d o r	T5	T3	T1
B	T5	T3	T1		T4	T2	T6
C	T4	T6	T2		T3	T1	T5
D	T3	T1	T5		T6	T4	T2

Fonte: Autores, (2023).

Os tratamentos foram constituídos de uma testemunha (sem inoculação das sementes); duas formas de inoculação isolada das sementes, uma com *B. japonicum* e *B. diazoefficiens* (inoculante A) e outra com *B. elkanii* (inoculante B); e três combinações de inoculantes, 50% de *B. japonicum* e *B. diazoefficiens* (inoculante A) + 50% de *B. elkanii* (inoculante B), 80% de *B. japonicum* e *B. diazoefficiens* (inoculante A) + 20% de *B. elkanii* (inoculante B), e 20% de *B. japonicum* e *B. diazoefficiens* (inoculante A) + 80% de *B. elkanii* (inoculante B) totalizando 6 tratamentos. (Tabela 2).

Tabela 2 -Tratamentos estabelecidos para avaliar a eficiência da inoculação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5079), *Bradyrhizobium diazoefficiens* (SEMIA 5080) e *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 587 E SEMIA 5019) na cultura da soja.

Tratamentos	Fonte	Inoculantes	
		(A) ¹ 6x10 ⁹ UFC/mL	(B) ² 5x10 ⁹ UFC/g
Dose/ha			
T1	Testemunha	0	0
T2	Inoculante (A) 100%	88,88mL	0
T3	Inoculante (B) 100%	0	106,66g
T4	(A) 50% + (B) 50%	44,44mL	53,33g
T5	(A) 80% + (B) 20%	71,10mL	21,33g
T6	(A) 20% + (B) 80%	17,77mL	85,32g

*A inoculação foi realizada de modo que oferece 2.000.000 de bactérias por semente de soja; (A) Inoculante com *B. japonicum* + *B. diazoefficiens*; (B) Inoculante com *Bradyrhizobium elkanii*;
¹ Garantia de 6.000.000.000 UFC/mL; ² Garantia de 5.000.000.000 UFC/g.

Foram utilizados dois inoculantes contendo bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, tais inoculantes da empresa biológica Forbio, BRASILEC TS ON TIME inoculante líquido composto por uma cultura pura de bactérias *Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 e *Bradyrhizobium diazoefficiens* SEMIA 5080, oferecendo uma garantia de 6x10⁹ UFC/mL, com uma densidade de 1,0g/cm³. E o BRASILEC TS IN BOX NOD inoculante sólido turfoso biomolecular composto por uma cultura pura de bactérias *Bradyrhizobium elkanii* SEMIA 587 e SEMIA 5019, oferecendo uma garantia de 5x10⁹ UFC/g.

Na realização do tratamento de semente, utilizou-se uma balança digital de precisão para conferir o peso das sementes e do inoculante turfoso, a dosagem do inoculante líquido utilizou uma seringa graduada de 1,5 mL. Cada tratamento utilizou-se 500g de semente correspondendo a uma quantidade de 2660 sementes, os tratamentos que receberam os inoculantes foram dosados de forma a garantir 2.000.000 de bactérias por semente de soja. Cabe ressaltar que para cada tratamento utilizou um volume líquido de

3ml para cada 500g de semente, a fim de fazer a homogeneização da área de contato com as sementes e o inoculante, líquido esse proveniente de uma solução açucarada a 10% (100g de açúcar e completar para um litro de água) que era utilizado para completar o volume de 3ml/500g.

2.1.4 PARÂMETROS AVALIADOS

Foi realizada a avaliação dos seguintes parâmetros para cada parcela: índice de clorofila (SPAD); número de nódulos e sua massa seca; população final de plantas; altura de plantas; altura de inserção da primeira vagem; número de vagem por planta; número de grãos por planta; peso de mil sementes e produtividade.

2.1.4.1 Índice de clorofila (SPAD)

A avaliação foi realizada no estágio R₂ utilizando o aparelho Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus. Para essa avaliação, foram selecionadas aleatoriamente 10 plantas dentro da área útil da parcela. O terceiro trifólio, do ápice para a base da planta, foi selecionado para tomada de medidas, levando em consideração sempre o folíolo central. Os resultados obtidos foram expressos conforme índice fornecido pelo equipamento.

2.1.4.2 Massa da matéria seca da planta e número de nódulos

A massa de matéria seca e o número de nódulos foram determinados no estágio R₂, no momento em que a planta da soja já possuía um maior desenvolvimento radicular, sendo o momento com maior número de nódulos ativos, onde para a determinação do número de nódulos e matéria seca da planta foi feita a coleta de 10 plantas ao acaso na área útil da parcela, utilizando uma pá-reta tendo o máximo cuidado para não danificar as raízes e não perde os nódulos, foi feito a retirada da planta inteira com solo nas raízes e armazenadas em sacos de papel kraft. Após a coleta foi realizada a lavagem das raízes e feita a separação dos nódulos, das raízes e da parte aérea da planta, depois foi realizada a contagem dos nódulos ativos por plantas, em seguida as plantas foram submetidas a uma estufa de secagem forçada a uma temperatura de 60°C até atingir uma massa constante, após esse processo de secagem da parte aérea, radicular e dos nódulos, as plantas foram

pesadas em uma balança digital da marca Marte modelo MS30K. Assim tendo o número de nódulos e massa seca de nódulos por planta, e massa da matéria seca da planta. Os resultados foram expressos em $g/planta^{-1}$.

2.1.4.3 População final de plantas

Foi realizada por meio da contagem das plantas em 2m linear na área útil da parcela, fazendo duas repetições e posteriormente fazer a divisão do total de plantas por quatro para encontrar a população por metro linear da parcela, fazendo depois a conversão dos resultados para plantas ha^{-1} .

2.1.4.4 Altura de plantas

A determinação da altura de planta foi por meio da coleta ao acaso de 10 plantas da área útil de cada parcela. Sendo que foi feito o corte na base de cada planta, rente ao solo da região do coleto, utilizado uma tesoura de poda e para realização das medidas foi utilizado uma régua graduada em mm, medindo da base do ramo principal até o último nó do ramo principal da planta de soja. Os resultados foram expressos em cm.

2.1.4.5 Altura de inserção da primeira vagem

Foi determinado nas mesmas plantas obtidas para a determinação de altura de plantas, onde a altura da inserção da primeira vagem foi conferida por meio de uma régua graduada em mm até o ponto de conexão entre a vagem e o pedúnculo. Os resultados foram expressos em cm.

2.1.4.6 Número de vagem por planta (NVP)

Foi determinado nas mesmas plantas obtidas para a determinação de altura de plantas, onde a determinação do número de vagem por planta foi conferida por meio da contagem manual das vagens em cada planta. Os resultados foram expressos em número de vagens $planta^{-1}$.

2.1.4.7 Número de grãos por planta (NGP)

Seria determinado nas mesmas plantas obtidas para a determinação de altura de plantas, onde a determinação do número de grãos por planta seria conferida por meio da contagem manual de todos os grãos viáveis da planta de soja. Os resultados seriam expressos em número de grãos planta⁻¹. Por causa da chuva de granizo, essa avaliação foi excluída do ensaio.

2.1.4.8 Peso de mil sementes (PMS)

O peso de mil sementes foi determinado nas mesmas plantas obtidas para a determinação de altura de plantas, onde a determinação do peso de mil sementes foi conferida por meio da contagem manual de 8 repetições de 100 grãos cada e, em seguida, submetida a determinação da massa em uma balança analítica da marca Marte, modelo AD 330, e precisão de 0,01 gramas. Paralelamente foi realizada a medição do teor de água das sementes usando um medidor de umidade da marca GEHAKA, modelo G300. e os resultados corrigidos expressos em gramas para uma umidade (base úmida) de 13%.

2.1.4.9 Produtividade

Foi determinada por meio da colheita das plantas da área útil do experimento, onde a determinação da produtividade foi obtida por meio da debulha das vagens, tendo os grãos de soja que em seguida foram submetidos à determinação da massa em uma balança analítica da marca Marte, modelo AD 330, e precisão de 0,01 gramas, tendo o peso final. Paralelamente foi realizada a medição do teor de água das sementes um medidor de umidade da marca GEHAKA, modelo G300. e os resultados corrigidos expressos em kg/ha para uma umidade (base úmida) de 13%.

2.1.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos a análise estatística multivariada (MANOVA) para verificação da significância multivariada pelo teste de lambda Wilks. Quando o p-valor multivariado foi significativo, aplicou-se a análise estatística univariada (ANOVA) com um

tratamento controle (sem inoculação) e os resultados médios comparado pelo teste de Tukey a 5%. Em seguida, foi calculado a distância euclidiana padronizada média de dissimilaridade e o melhor dendograma determinado pela maior correlação cafonética, sendo testados os métodos de ligação simples, ligação completa e ligação média entre os grupos (UPGMA). A partir da maior correlação cafonética foi gerado com um heatmap e o número de agrupamentos determinado de acordo com o método Mojena ($k=1.25$). Por fim, para avaliação multivariada, os dados foram submetidos à análise de componentes principais com formação de agrupamentos conforme o dendrograma. O software utilizado para as análises estatísticas foi o R gerenciado pelo RStudio com os pacotes “Tratamento.Ad” e “MultivariateAnalysis”.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 Importância econômica do soja

A soja (*Glycine max*) é uma das culturas mais plantadas no mundo inteiro, onde apresentando um valor expressivo no mercado devido à sua relevância como fonte de proteínas e sua adaptabilidade em diversas áreas, incluindo nutrição humana e animal, além da produção de biocombustíveis, plásticos e solventes industriais (FREITAS, 2011).

No mercado brasileiro, a soja ocupa uma posição de destaque entre as principais commodities agrícolas, possuindo um alto valor agregado, conferindo ao Brasil o título de principal produtor e exportador de soja no mundo (DALLAGNOL *et al.*, 2021).

A soja teve sua origem e domesticação no nordeste da Ásia, onde sua disseminação ocorreu por meio de viagens marítimas. No Brasil, o primeiro relato do surgimento da soja foi no estado da Bahia em 1882, onde não teve um grande sucesso para seu desenvolvimento, mas em 1914 a soja foi introduzida no estado do Rio Grande do Sul, onde as variedades trazidas dos Estados Unidos se adaptaram melhor às condições de solo e clima, principalmente relacionadas ao fotoperíodo (FREITAS, 2011).

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), a produção mundial oficial de soja no ano de 2021 foi de 355.370.766,69 toneladas, mas entretanto, o estimado pela mesma indica que a produção mundial possa ter alcançado 371.693.592,66 toneladas. De acordo com a CONAB (2024), a safra de soja brasileira de 2023/2024 foi de 147,3 milhões de toneladas, em uma área plantada de 45,978 milhões de hectares, alcançando uma produtividade média de 3.205 kg

ha⁻¹. Já a safra 2023/2024 no estado do Paraná alcançou uma produção de 18,35 milhões de toneladas, em uma área plantada de 5,82 milhões de hectares, com produtividade média de 3.155 kg ha⁻¹ (CONAB, 2024).

2.2.2 Morfologia do soja

A soja é uma planta que pertence à família das leguminosas, da subfamília Fabaceae. Onde a sua planta é ereta, herbácea e anual, com capacidade de autopolinização. Algumas características morfológicas apresentam certa variabilidade e são influenciadas pelo ambiente, como o seu ciclo de crescimento que pode variar de 75 a 200 dias, e a altura que varia de 30 a 200 cm (TEJO *et al.*, 2019).

O seu sistema radicular é composto por raiz axial principal e raízes secundárias, que estão distribuídas em quatro ordens, mas no entanto, esse sistema radicular é caracterizado como difuso, devido a raiz principal ser pouco desenvolvida (SEDIYAMA *et al.*, 1985). Nas raízes da planta da soja, há presença de nódulos que resultam da simbiose entre a soja e bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, onde tais bactérias desempenham a tarefa importante de fixar o nitrogênio atmosférico e disponibilizá-lo para a planta de forma assimilável de nitrato, em troca de hidratos de carbono (TEJO *et al.*, 2019).

A soja possui um caule caracterizado como herbáceo, ereto, pubescente e ramificado, com seu desenvolvimento iniciando-se logo após a germinação. Embora seu crescimento possa ser influenciado por condições externas do ambiente, na maioria das cultivares, é do tipo ortotrópico, e seu hábito de crescimento da planta pode ser dividido em determinado, semi determinado ou indeterminado, dependendo das características do ápice principal do caule e da cultivar (MÜLLHER, 1981).

Durante o crescimento e desenvolvimento da planta de soja, vai apresentar três tipos de folhas diferentes. As cotiledonares são as primeiras a surgirem, seguidas pelas unifolioladas, e por fim, as trifolioladas aparecem logo após a unifoliolada e permanecem até a senescência. As flores da soja são completas e se apresentam em ramos terminais ou axilares (SEDIYAMA *et al.*, 1985). A cor da flor pode variar de branca ou púrpura, essa variância possui conforme a genética da cultivar (TEJO *et al.*, 2019).

O fruto do soja é do tipo legume, comumente conhecido como vagem, onde quando maduro possui aproximadamente entre 2 a 7 cm de comprimento e 1 a 2 cm de largura, dependendo da variedade e das condições climáticas. Geralmente, apresenta uma forma

achatada e sua cor varia entre cinza, amarelo-palha ou preta. E cada planta pode atingir uma produção de até 400 grãos, distribuídos em vagens que contêm de 1 a 5 grãos. Mas na maioria das variedades possui em torno de 2 a 3 sementes por vagem (MÜLLHER, 1981).

De acordo com Neumaier *et al.* (2020), através da descrição dos estádios fenológicos da soja, é possível estabelecer uma relação entre o seu desenvolvimento e as necessidades da cultura. Onde possui uma divisão do ciclo da soja em estádios vegetativos (V) e estádios reprodutivos (R), ainda possui estágios específicos onde são identificados por números, após o V ou o R, e estádios VE (emergência) e VC (cotilédone) são identificados apenas por letras. Tais fases do desenvolvimento das plantas estão descritas conforme (Tabela 3).

Tabela 3: Classificação dos estádios fenológicos da soja

Estádios Fenológicos	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Emergência da plântula, cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotiledonar	Cotilédones completamente abertos e folhas unifolioladas estendidas, de modo que as bordas não se tocam
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvidas
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvidas
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V5	Quinto nó	Quarta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V6	Sexto nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida
Vn	Enésimo nó	Ante enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida
R1	Início da floração	Uma flor aberta em qualquer nó do caule principal
R2	Floração plena	Uma flor aberta num dos 2 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvidas
R3	Início na formação de vagem	Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida

R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento dos grãos	Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R6	Grãos completamente desenvolvidos	Vagem com grãos verdes preenchendo a cavidade das vagens de um dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvidas
R7	Início da maturação	Uma vagem normal no caule com coloração de madura
R8	Maturação plena	Maturação dos grãos com 95% das vagens com coloração madura

Fonte: (NEUMAIER *et al.*, 2020).

2.2.3 Fixação biológica de nitrogênio (FBN)

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) consiste num processo vital proveniente de grupos de microrganismos que exercem a função primordial da enzima nitrogenase, que possui habilidade de transformar o nitrogênio atmosférico em uma forma disponível para as plantas como fonte nutritiva. O processo de FBN na cultura da soja desempenha papel importante na incorporação do nitrogênio atmosférico, processo biológico mais significativo para as plantas depois da fotossíntese, onde oferece para as plantas fonte essencial de nitrogênio para o crescimento e desenvolvimento saudáveis (EMBRAPA, 2013).

Segundo a Embrapa (2013), o processo natural executado por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que em simbiose com as raízes, capturam o nitrogênio do ar N₂ e o convertem em NH₃ (forma assimilável pelas plantas). A FBN é a fonte de nitrogênio mais vantajosa para a cultura da soja em termos de custo-benefício.

De acordo com Kerbauy (2019), a associação entre rizóbios e leguminosas se dá devido à troca de sinais entre o rizóbio e a planta hospedeira. Onde essa troca normalmente é favorecida em solos com baixa disponibilidade de nitrogênio, possibilitando maior formação de nódulos e fixação simbiótica do nitrogênio. Esse processo de reconhecimento entre a planta e o rizóbio, que ocorre a infecção da raiz formando o nódulo, envolve um grupo de genes específicos do rizóbio (genes *nod*) e da planta hospedeira (genes que codificam nodulinas). Moléculas sinalizadoras como flavonóides provenientes do metabolismo secundário vegetal, são liberadas pelas raízes das leguminosas estimulando a multiplicação do rizóbio e sua migração em direção da

rizosfera da planta hospedeira.

De acordo com Hungria e Nogueira (2022), em microrganismos diazotróficos, a fixação de nitrogênio é catalisada por meio do complexo da enzima nitrogenase $N_2 + 8 H^+ + 8 e^- + 16 ATP \rightarrow 2 NH_3 + H_2 + 16 ADP + 16 P_i$, onde no processo de fixação a tripla ligação do N_2 é quebrada, em seguida cada átomo de nitrogênio se liga a três íons H^+ recebendo três elétrons, formando duas moléculas de NH_3 . Adicionalmente é reduzido dois íons H^+ , formando uma molécula de H_2 . Além de fontes de elétrons, todo o processo demanda a energia proveniente da hidrólise de 16 moléculas de ATP a cada duas moléculas de NH_3 formadas. Nos nódulos de leguminosas, o ATP e os elétrons necessários para o processo FBN são extraídos da oxidação da sacarose presente no floema da planta hospedeira. Essa sacarose das raiz da planta é metabolizada a ácidos dicarboxílicos, como malato, onde são os principais substratos transferidos para os bacteroides, esses compostos passam pelo ciclo de Krebs liberando CO_2 e reduz o transportadores de elétrons, como o NADH. Esses transportadores reduzem a ferredoxina, a qual fornece os elétrons para a reação catalisada pela nitrogenase (KERBAUY, 2019).

No processo de convívio simbiótico das leguminosas com as bactérias que habitam os seus nódulos fornecendo nitrogênio fixado para a planta hospedeira, que por sua vez, fornecem fontes de carbono destinadas ao fornecimento de energia aos microssimbiontes. Quando ocorre a sintetização da enzima denominada nitrogenase, que promove a quebra da tripla ligação de N_2 , transformando em amônia NH_3 , tendo assim a fixação biológica do nitrogênio (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2022).

No caso da cultura da soja, a simbiose acontece com bactérias das espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*, que conseguem formar estruturas especializadas nas raízes (nódulo), onde absorvem o N_2 atmosférico, que será transformado e depois poderá ser utilizada pela a planta. Em troca, a planta fornece à bactéria energia proveniente da fotossíntese, assim estabelece-se uma associação perfeita em que tanto a planta quanto a bactéria são beneficiadas mutuamente (MERCANTE *et al.*, 2004).

As bactérias como o *Bradyrhizobium japonicum* (também incluindo a SEMIA 5080, reclassificada como *Bradyrhizobium diazoefficiens*) e *Bradyrhizobium elkanii* são conhecidas popularmente como rizóbios, embora não sejam os únicos simbiontes da soja, têm sido os mais utilizados na produção de inoculantes comerciais nas principais regiões produtora de soja do mundo, que inclui Brasil. O *Bradyrhizobium* é composto por bactérias gram-negativas de crescimento lento que formam nódulos nas raízes da soja. Existe uma ampla diversidade desses organismos, como pode ser observado pela

variabilidade de grupos sorológicos existentes (PADUKKAGE *et al.*, 2021).

Hafiz *et al.* (2021), analisaram a proporção de cepas de *B. japonicum* e *B. elkanii* presentes nas raízes de soja, assim como a composição dos nódulos, em diferentes temperaturas. Onde seus resultados mostraram que nas temperaturas mais baixas, a cepa de *B. japonicum* era dominante nos nódulos, embora as populações relativas de ambas as cepas fossem similares nas raízes. Já nas temperaturas mais altas, as cepas de *B. elkanii* eram dominante nos nódulos, devido à sua maior presença relativa nas raízes. Assim foi constatado que a ocupação dos nódulos por *B. elkanii* aumentava nas temperaturas mais altas, enquanto a de *B. japonicum* aumentava nas temperaturas mais baixas.

2.2.4 Inoculação com bactérias *Bradyrhizobium*

Segundo Alcântara *et al.* (2011) a inoculação é realizada ao adicionar bactérias fixadoras de nitrogênio previamente selecionadas à semente das plantas durante o momento da semeadura. Essa prática envolve o uso de um agente conhecido como inoculante, que não prejudica o solo, fornece nitrogênio às plantas e apresenta um custo significativamente inferior se comparado aos fertilizantes químicos nitrogenados. A prática de inoculação de sementes de soja é uma das principais tecnologias na agricultura brasileira, onde a introdução de bactéria do gênero *Bradyrhizobium* na sementes da soja, infectam as raízes da planta por meio de pelo radiculares, formando os nódulos que promovem a fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja (NOGUEIRA; HUNGRIA, 2014).

De acordo com a Embrapa (2013), sem a inoculação com *Bradyrhizobium*, os custos com adubação nitrogenada na soja no Brasil seriam de aproximadamente R\$ 906,00 por hectare para uma produção de 2.450 kg por hectare, podendo chegar a R\$ 24,9 bilhões na área total de soja plantada no Brasil.

No Brasil a primeira estirpe de relevância brasileira para a soja foi a SEMIA 566, onde ela foi isolada em 1966 proveniente do nódulo de uma cultivar Hardee, que havia recebido inoculante norte-americano, na busca de superar problemas de nodulação, na Fundação Estadual de Pesquisa agropecuária, Fepagro, RS. Uma outra linhagem, a SEMIA 587 foi descoberta em 1967, a partir de uma planta de soja em Santa Rosa, RS, onde ela mostrou-se eficaz em vários testes de campo (HUNGRIA; MENDES, 2015). Na década de 1970 com a expansão da soja para os Cerrados essas estirpes selecionadas na região Sul não obtiveram resultados satisfatórios, exigindo novas pesquisas. Onde a partir

de um nódulo de soja da linhagem IAC-70-559, foi isolada e selecionada a SEMIA 5019 (29W), que apresentou bom desempenho nesse bioma, juntamente com a SEMIA 587. Essas duas linhagens são da espécie *Bradyrhizobium elkanii*, sendo competitivas no sistema, formando nódulos mais pesados, e estão presentes nos inoculantes até a atualidade (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2022).

Novas variedades de soja com maiores rendimentos e o progresso da cultura da soja no Cerrado impulsionaram a busca por novas cepas mais eficientes no processo FBN, que seja competitivas e adaptadas a condições de solo e clima desafiadoras. Após analisar e avaliar a atividade da enzima nitrogenase em nódulos de soja previamente inoculada e submetida a condições dos Cerrados. Foram isoladas duas cepas *Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 (CPAC 15) e *Bradyrhizobium diazoefficiens* SEMIA 5080 (CPAC 7). A SEMIA 5079 pertencente ao mesmo sorogrupo da SEMIA 566, apresentou ser bastante competitiva e apresentando maior capacidade de fixar nitrogênio, aliado a uma menor sensibilidade a concentração baixas de glifosato, e a SEMIA 5080 foi desenvolvida a partir de uma subcultura da cepa CB 1809, onde ela apresentou uma maior capacidade de fixação de nitrogênio, mesmo em condições de sombreamento. Essas duas estirpes são utilizadas em inoculantes comerciais até a atualidade, sendo um dos principais responsáveis pelo sucesso da FBN nas lavouras de soja brasileiras (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2022 ; BOSSOLANI *et al.*, 2018).

De acordo com Hungria e Mendes (2015), é comprovado a grande eficácia dessas quatro estirpes (SEMIA 587, SEMIA 5019, SEMIA 5079 e SEMIA 5080) em todas regiões produtoras de soja do Brasil, onde foram feito mais de 200 experimentos por instituições de pesquisa nas diversas regiões produtoras, e concluíram em média um ganho de 8% ao ano no rendimento da produção dos grãos em áreas já cultivadas soja. Com isso, é recomendado a inoculação em área onde já foram inoculadas uma vez, também denominada de reinoculação, onde é uma prática de baixo custo e altamente benéfica para a cultura da soja (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2020).

De acordo com um levantamento realizado pela ANPII - Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (2023), na safra 2022/2023 a prática de inoculação na cultura da soja foi 85% da área cultivada no país, onde grande porcentagem dessa área são de “cultivos velhos” que recebe essa reinoculação, demonstrando a confiança dos agricultores na tecnologia de inoculação anual da soja. No estado do Paraná, o levantamento feito pela ANPII (2023), na safra 2022/23 apontou que 73% da área cultivada de soja foi inoculada.

Para uma inoculação adequada recomenda-se o uso de inoculantes registrados no Mapa, onde ele vai apresentar uma concentração mínima de 1×10^9 células viáveis de *Bradyrhizobium* spp. por grama ou mL do inoculante de soja. A pesquisa recomenda que cada dose de inoculante aplicada nas sementes ofereça um mínimo de 1,2 milhões de células viáveis por semente de soja, mas para áreas novas sem histórico de cultivo de soja, recomenda-se o dobro da dose, no caso 2,4 milhões de células viáveis por semnete de soja (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2020).

Segundo Passo (2013), é necessário garantir na hora da inoculação boa cobertura e homogeneidade do inoculante nas sementes; não utilizar inoculantes vencidos ou aberto; transportar e armazenar o inoculante em lugar fresco e bem arejado; fazer a inoculação à sombra não expondo o inoculante e sementes inoculadas ao solo ou altas temperaturas; não fazer mistura do inoculante com produtos químicos e caso seja necessário o uso desses produtos, tratar as sementes com os químicos e deixar secar, e em uma segunda operação inoculando as sementes; procurar semear as sementes logo após o processo de inoculação, caso não seja possível semear em até 18 horas após a inoculação, reinocular as sementes; não exceder um volume líquido aplicado nas semnetes de 300 mL/50 kg de sementes; para uma melhor aderência dos inoculantes turfosos e líquidos também, recomenda-se umedecer as sementes com uma solução açucarada a 10% (100g de açúcar e completar para um litro de água), mas sem exceder o volume líquido máximo de 300 mL/50 kg para não comprometer a viabilidade das sementes.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com Pimentel-Gomes (2009), em experimentos de campo com culturas agrícolas, que considera os valores de CV como baixos, quando são inferiores a 10%, médios, quando estão entre 10 e 20%, altos, quando estão entre 20 e 30%, e muito altos, quando são superiores a 30%.

Em relação a população de plantas, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre todos os tratamentos avaliados, conforme a (Tabela 4). Esses resultados demonstram que a prática de inoculação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp. na cultura da soja não interfere na emergência das plântulas. Esse resultado Agostini *et al.* (2005), os quais evidenciaram que a inoculação é benéfica para a nodulação, mas não interferem na emergência das plântulas.

Quanto à medida do índice de clorofila (SPAD) no estágio R₂, não foi mostrado significante diferença relevante nos resultados entre os tratamentos estabelecidos, na análise estatística não apresentaram diferença significativa em relação à testemunha.

De acordo com a (Tabela 4), pode se observar que o tratamento testemunha teve um resultado inferior no índice de clorofila aos demais tratamentos que foram inoculados, que de acordo com Silva Neto (2019), a inoculação com *Bradyrhizobium* pode gerar benefícios para a cultura da soja, de forma que os tratamentos que estão associados com a inoculação apresentam parâmetros melhores de fixação biológica de nitrogênio. Em um trabalho realizado por Zuffo *et al.* (2014) na cultura da soja, com o uso da inoculação isoladamente com *B. japonicum* e em conjunto com o *Azospirillum brasilense* não teve um efeito significativo sobre a análise de SPAD, colaborando com os resultados obtidos na mesma avaliação desse trabalho.

Na análise de massa de matéria seca de planta da soja, foi observado que os tratamentos que foram inoculados tiveram um maior percentual de massa seca por planta, onde apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento testemunha (T1), que teve um menor desenvolvimento da parte aérea seca.

De acordo com Zilli *et al.* (2010), quando realizada a inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* é reconhecida a eficiência na maior formação de nódulos nas raízes da soja, que vão auxiliar para um aumento do potencial de FBN, onde esse N requerido pela planta de soja beneficia o desenvolvimento da mesma, resultando em uma maior massa de matéria seca

da planta em comparação a testemunha, não diferenciando significativamente entre os demais tratamentos com inoculação, como podemos verificar na (Tabela 4).

Na avaliação do número de nódulos das plantas em estágio R₂, conforme mostra a (Tabela 4), foi constatado que não ocorreu nenhuma diferença significativa entre os tratamentos.

Na avaliação feita da massa seca total dos nódulos não apresentou nenhuma diferença significativa entre os tratamentos, podemos observar na (Tabela 4), que os resultados foram semelhantes entre os tratamentos.

Cabe destacar que os tratamentos com estirpes de *B. elkanii* apresentou um potencial formação de números de nódulos maior e mais pesados, porém não teve resultado significativo no trabalho presente. Um trabalho realizado por Zilli *et al.* (2006), onde ele avaliou 4 estirpes de *Bradyrhizobium* (SEMIA 587, SEMIA 5019, SEMIA 5079 e SEMIA 5080), separadamente e combinadas entre elas, apresentou resultado semelhante, onde os tratamentos com as estirpes de *B. elkanii* proporcionou um média do número de nódulos superior a média dos demais tratamentos inoculados, onde todos os tratamentos que receberam inoculante apresentou média superior da testemunha que não tinha sido inoculada. De acordo com Hungria e Nogueira (2022), as estirpes de *B. elkanii* são mais agressivas e competitivas de modo que elas apresentam maior potencial de formação de nódulos e nódulos mais pesados na cultura da soja.

Tabela 4. Resumo do quadro de análise de características fitotécnicas do crescimento e desenvolvimento da soja como, População de plantas (POP), Índice de clorofila (SPAD), Massa seca total (MST), Número de nódulos (NN) e Massa seca total de nódulos (MN).

Tratamentos	População de plantas	Índice de clorofila (SPAD)	Massa seca total (g/planta)	Número nódulos (unidade)	Massa seca total nódulos (g)
..... Médias					
T1 - Testemunha	12.2 ^{ns}	42.84 ^{ns}	15.88 ^{nsb}	732.5 ^{ns}	3.2 ^{ns}
T2 - Inoculante (A) 100%	12.6 ^{ns}	43.86 ^{ns}	18.52 ^{*a}	742.5 ^{ns}	3.7 ^{ns}
T3 - Inoculante (B) 100%	12.9 ^{ns}	43.10 ^{ns}	19.48 ^{*a}	764.8 ^{ns}	3.6 ^{ns}
T4 - (A)50% + (B) 50%	12.5 ^{ns}	43.34 ^{ns}	18.58 ^{*a}	621.0 ^{ns}	3.4 ^{ns}
T5 - (A)80% + (B) 20%	12.4 ^{ns}	43.65 ^{ns}	18.30 ^{*a}	720.5 ^{ns}	3.2 ^{ns}
T6 - (A)20% + (B) 80%	12.4 ^{ns}	43.12 ^{ns}	17.22 ^{*a}	859.0 ^{ns}	4.1 ^{ns}
.....p-valor.....					
Controle vs. Tratamentos	0,239 ^{n.s.}	0,332 ^{n.s.}	0.042 [*]	0,999 ^{n.s.}	0,999 ^{n.s.}
Tratamentos	0.999 ^{n.s.}	0,999 ^{n.s.}	0,999 ^{n.s.}	0,096 ^{n.s.}	0,271 ^{ns}
Bloco	0,274 ^{n.s.}	0,326 ^{n.s.}	0,999 ^{n.s.}	0,392 ^{n.s.}	0,239 ^{ns}
Coefficiente de variação (%)	3,57	2,38	11,70	14,93	19,33

Valores com * Diferiram significativamente ao nível de 5% de significativamente pelo teste de Tukey e lambda Wilks; Valores com ^{ns} Não significativo.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de tukey.

Conforme a avaliação de altura de plantas presente na (Tabela 5), é possível observar que o tratamento T1 teve um menor desenvolvimento em comparação aos demais tratamentos

que receberam inoculação. Porém de acordo com a análise estatística não apresentou resultado significativo entre os tratamentos com inoculante. Cabe destacar que durante o desenvolvimento da cultura da soja a campo, houve a ocorrência de um veranico, tendo uma baixa precipitação durante os meses de dezembro e janeiro que pode ter influenciado em um menor desenvolvimento das plantas.

A avaliação do número de grãos por planta (NGP) foi excluída do trabalho devido a incidência de chuva de granizo no dia 20 de fevereiro de 2024, quando as plantas de soja já se encontravam em estágio R8, no ponto de colheita. Essa ocorrência do granizo causou a debulha de parte das vagens das plantas de soja em campo, tendo perda do número de grãos por planta.

Na análise do peso de mil sementes (PMS), como demonstra a (Tabela 5), não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos que receberam inoculação em relação à testemunha.

Na avaliação de produtividade foi nítido que as parcelas que receberam a inoculação na semente obteve uma produtividade maior, embora não houvesse diferença no PMS das sementes. Podemos observar (Tabela 5), um aumento médio de 14% da produtividade para os tratamentos que receberam inoculação em comparação a testemunha. Esse aumento na produtividade pode ser justificado devido o número de vagens por planta, em média teve um incremento de 37% no número de vagens por planta nos tratamentos que foram inoculados, em relação a testemunha.

Na produtividade obteve uma diferenciação significativa somente para a testemunha em comparação aos tratamentos com inoculante, mas em especial os tratamentos que tiveram maior porcentagem de *B. japonicum*, com 100% e 80% do total da calda do inoculante (T2 e T5), tiveram um maior índice de clorofila (Tabela 4), menos apresentando uma menor nodulação das raízes e também apresentaram uma produtividade maior em comparação os demais tratamentos com inoculantes. Isso indica que as estirpes de *B. japonicum* apresentam uma maior eficiência na fixação do nitrogênio atmosférico. De acordo com Zilli *et al.* (2006), em uma pesquisa onde ele avaliou 4 estirpes de *Bradyrhizobium* (SEMIA 587, SEMIA 5019, SEMIA 5079 e SEMIA 5080), na análise conjunta dos dados observaram que todos os tratamentos com inoculantes a produtividade foi superior ao tratamento controle que não teria sido inoculado as sementes de soja e relatou que as estirpes do *B. japonicum* proporcionaram rendimento superiores as estirpes do *B. elkanii*, assim mantendo uma semelhança nos resultados obtidos neste trabalho.

De acordo com Hungria e Mendes (2015), a pesquisa apresenta que realizar a

inoculação anual, no caso a cada safra, com *Bradyrhizobium* pode trazer um ganho médio de 8% na produtividade da soja, e para área novas, onde nunca foi cultivado soja pode chegar a 16%. Sendo um viável o uso da inoculação devido seu baixo custo da inoculação e o grande retorno que essa prática entrega para o produtor.

Tabela 5. Resumo do quadro de análise de características fitotécnicas de produção da soja como, Altura de planta (ALT), Número de vagens por planta (NVP), Peso de mil sementes (PMS) e Produtividade (PROD).

Tratamentos	Altura plantas (cm)	Número de vagens planta ⁻¹	Peso de mil sementes (g)	Produtividade (kg/ha)
..... Médias				
Testemunha	75.0 ^{ns}	49.0 ^{nsb}	149.71 ^{ns}	2737.0 ^{nsb}
Inoculante (A) 100%	77.6 ^{ns}	65.8 ^{*a}	149.85 ^{ns}	3211.5 ^{*a}
Inoculante (B) 100%	80.0 ^{ns}	71.7 ^{*a}	150.08 ^{ns}	3096.2 ^{*a}
(A)50% + (B) 50%	80.2 ^{ns}	68.7 ^{*a}	149.33 ^{ns}	3077.9 ^{*a}
(A)80% + (B) 20%	79.6 ^{ns}	63.2 ^{*a}	149.09 ^{ns}	3237.2 ^{*a}
(A)20% + (B) 80%	78.6 ^{ns}	67.6 ^{* a}	149.52 ^{ns}	3078.5 ^{* a}
.....p-valor.....				
Controle vs. Tratamentos	0,057 ^{n.s.}	0.001 [*]	0.999 ^{n.s.}	0.0450 [*]
Tratamentos	0,999 ^{n.s.}	0.999 ^{n.s.}	0.999 ^{n.s.}	0,999 ^{n.s.}
Bloco	0.206 ^{n.s.}	0.009 [*]	0.321 ^{n.s.}	0.152 ^{n.s.}
Coefficiente de variação (%)	4.71	11.08	2.27	10.96

Valores com * Diferiram significativamente ao nível de 5% de significativamente pelo teste de Tukey e lambda Wilks; Valores com ^{ns} Não significativo.

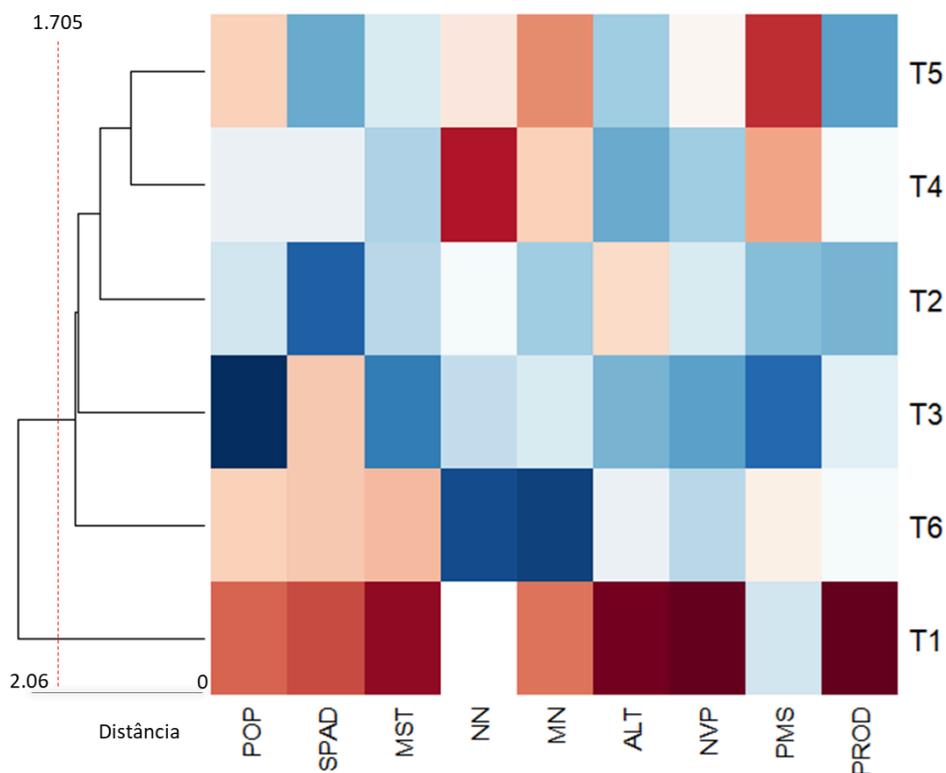
Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de tukey.

De acordo com o resultado da “Manova”, a combinação de todos os parâmetros

avaliados apresentou significância multivariada (lambda de Wilks = 1.727 e p-valor = 0.0492) e, portanto, a inoculação interferiu no desempenho global da soja a nível de campo.

O dendrograma que apresentou a maior correlação cafonética foi o calculado por UPGMA considerando as distâncias euclidianas médias padronizadas (0.9406), sendo portanto esse o mais apropriado para representar os dados multivariados. Por meio do dendrograma com heatmap observou-se que o tratamento T1 apresentou a maior distância de ligação com os demais grupos, sendo que de acordo com ponto de corte de Mojena (1.705) foram formados dois agrupamentos (sem inoculação (T1) vs. todos os demais tratamentos). Adicionalmente, ainda de acordo com heatmap, foi observado que os tratamentos que tiveram as maiores proporções de *B. japonicum* (T5, T4 e T2) apresentaram formação de um grupo enquanto os que apresentaram maiores proporções de *B. elkanii* (T3 e T6) formaram outro grupo (Figura 2).

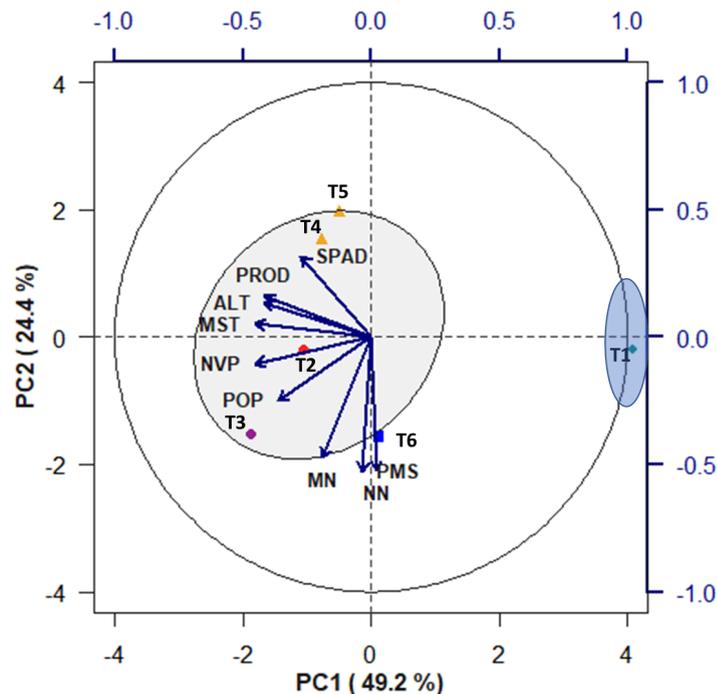
Figura 2: Dendrograma - População de plantas (POP), Índice de clorofila (SPAD), Massa seca total (MST), Número de nódulos (NN), Massa seca total de nódulos (MN), Altura de planta (ALT), Número de vagens por planta (NVP), Peso de mil sementes (PMS), Produtividade (PROD).



* Escala de cores: Vermelho (baixo desempenho) e Azul (alto desempenho).

Por meio da análise de componentes principais foi observado que as duas novas componentes formadas pela análise (PC1 e PC2) representaram 73,6% da variabilidade dos dados, sendo que PC1 representou o desempenho global de cultivares de soja, enquanto que PC2 representou a qualidade dos nódulos. Portanto, pelo gráfico de biplot verificou-se que tratamentos inoculados (T2 a T6) foram os que tiveram os maiores desempenhos global na cultura da soja comparativamente ao tratamento sem inoculação (T1). Adicionalmente, foi observado que os tratamentos que tiveram maior porcentagem de *B. elkanii*, com 100% e 80% do total da calda do inoculante (T3 e T6) apresentou resultados superiores para números de nódulos e maiores massa, enquanto os que tiveram *B. japonicum* (T2, T4 e T5) tiveram maior índice de clorofila. Isso indica que *B. japonicum* com menos nódulos conseguiu obter maiores valores de SPAD indicando que são bactérias mais eficientes na fixação de N (Figura 3).

Figura 3: Biplot - População de plantas (POP), Índice de clorofila (SPAD), Massa seca total (MST), Número de nódulos (NN), Massa seca total de nódulos (MN), Altura de planta (ALT), Número de vagens por planta (NVP), Peso de mil sementes (PMS), Produtividade (PROD).



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prática de inoculação das sementes de soja no momento da semeadura com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (*B. japonicum*, *B. diazoefficiens* e *B. elkanii*), independente da combinação apresentam incrementos nos componentes de rendimento e produtividade da cultura da soja. O uso de espécies *Bradyrhizobium* separadas e combinadas, apresentaram aumento significativo quando comparada com a testemunha (não inoculada), tendo um aumento médio de 14% na produtividade da soja, nos tratamentos que tiveram a inoculação.

Conforme a análise multivariada, a inoculação interferiu no desempenho global da soja a nível de campo. Demonstrando que os tratamentos inoculados (T2 a T6) foram os que tiveram os maiores desempenhos global na cultura da soja comparativamente ao tratamento sem inoculação (T1).

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, Pietro *et al.* **Efeitos da co-inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e bactérias endofíticas na colonização de raízes e emergência de plântulas de soja.** In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE MICROBIOLOGIA AMBIENTAL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA AMÉRICA DO SUL, 1., 2005, Campinas/SP. Resumos: ecologia microbiana. Campinas/SP: WIMA, 2005. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1021252>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- ALCÂNTARA, Rosa Maria Cardoso Mota de *et al.* **Fixação Biológica de Nitrogênio.** 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/211734/1/Fixacao-biologica-de-Nitrogenio0001.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024.
- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. 2013. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares_etal_Koppen_climate_classBrazi_1_MeteoZei_2014.pdf. Acesso em: 03 nov. 2023.
- BHERING, Silvio Barge *et al.* **Mapa de solos do estado do Paraná:** legenda atualizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. [Viçosa, MG]: SBCS; Fortaleza: UFC, 2009. 1 CD-ROM. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/513293/mapa-de-solos-do-estado-do-parana-legenda-atualizada>. Acesso em: 03 nov. 2023.
- CONAB. **Boletim da safra de grãos.** 2024. 9º Levantamento - Safra 2023/24. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- DALL'AGNOL, Amélio *et al.* **Importância socioeconômica da soja.** 2021. Embrapa Soja. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica-da-soja>. Acesso em: 09 dez. 2023.

FREITAS, Márcio. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, [S. l.], v. 7, n. 12, 2011. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4287>. Acesso em: 10 dez. 2023.

HAFIZ, Md Hafizur Rahman *et al.* Growth and Competitive Infection Behaviors of *Bradyrhizobium japonicum* and *Bradyrhizobium elkanii* at Different Temperatures. **Horticulturae** 2021, 7 (3), 41, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030041>. Acesso em: 12 dez. 2023.

HUNGRIA, Mariangela *et al.* **A inoculação da soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1997. 28p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 17; EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 34). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/553170/a-inoculacao-da-soja>. Acesso em: 11 dez. 2023.

HUNGRIA, M; MENDES, I. C. **Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis?** Biological nitrogen fixation. v. 2. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015. cap.99, p. 1009-1023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781119053095.ch99>. Acesso em: 10 jun. 2024.

HUNGRIA, Mariangela; NOGUEIRA, Marco Antonio. **Fixação biológica de nitrogênio**. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (ed.). Bioinsumos na cultura da soja. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 8, Tecnologia de produção de soja, p. 185 - 196. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219417/1/p.-185-196-de-SP-17-20-20-online.pdf>. Acesso em: 15 maio 2024.

HUNGRIA, Mariangela; NOGUEIRA, Marco Antonio. **Fixação biológica do nitrogênio**. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (ed.). Bioinsumos na cultura da soja. Brasília, DF: Embrapa, 2022. cap. 8. Disponível em: . Acesso em: 11 dez. 2023.

IAT. **Sistema de Informações Hidrológicas - SIH**. 2024. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>. Acesso em: 09 jun. 2024.

MEERT, Leandro *et al.* **Diferentes inoculantes, formas de inoculação e seus efeitos sobre as características agronômicas da cultura da soja**. Research, Society and Development, v. 9, n. 10, p. e2969108499-e2969108499, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8499>. Acesso em: 28 nov. 2023.

MERCANTE, Fábio Martins *et al.* **Eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio pela Inoculação de Estirpes de *Bradyrhizobium* em Soja, no Estado de Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Documento 68, p. 27. 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/250665/eficiencia-da-fixacao>

[biologica-de-nitrogenio-pela-inoculacao-de-estirpes-de-bradyrhizobium-em-soja-no-estado-de-mato-grosso-do-sul](#). Acesso em: 11 dez. 2023.

MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. A soja no Brasil. 1 ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 65-104, 1981.

NEUMAIER, Norman *et al.* **Ecofisiologia da soja**. (Ed.). Tecnologias de produção de soja. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17). p. 33-54, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1128387>. Acesso em: 11 dez. 2023.

PADUKKAGE, Duwini *et al.* **Bradyrhizobium japonicum, B. elkanii and B. diazoefficiens Interact with Rice (Oryza sativa), Promote Growth and Increase Yield**. Current Microbiology, v. 78, p. 417-428, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00284-020-02249-z>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SILVA NETO, Carlos. **INOCULAÇÃO DE Bradyrhizobium japonicum E COINOCULAÇÃO COM Azospirillum brasilense VIA FERTILIZANTE ORGANOMINERAL NA CULTURA DA SOJA**. 2019. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Uberlândia Instituto de Ciências Agrárias Curso de Agronomia, Uberlândia - Mg, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26102/4/Inocula%0c3%a7%0c3%a3oBradyrhizobiumJaponicum.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2024.

TEJO, Débora Perdigão *et al.* **SOJA: FENOLOGIA, MORFOLOGIA E FATORES QUE INTERFEREM NA PRODUTIVIDADE**. Revista científica eletrônica de Agronomia da FAEF, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2019. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/hw9EU5Lusw7rZZH_2019-6-19-14-11-1.pdf. Acesso em: 10 dez. 2023.

ZILLI, Jerri Édson *et al.* **Avaliação da fixação biológica de nitrogênio na soja em áreas de primeiro cultivo no cerrado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, p. 9, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/470700>. Acesso em: 21 jul. 2024

ZILLI, Jerri Édson *et al.* **Inoculação da soja com Bradyrhizobium no sulco de semeadura alternativamente à inoculação de sementes**. Biologia do solo. Rev. Bras. Ciênc. Solo 34, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/dQxp5b4Nf6HWMznPYZjmR7S/>. Acesso em: 21 jul. 2024

ZUFFO, Alan M. *et al.* **Co-inoculation of Bradyrhizobium japonicum and Azospirillum brasilense in the soybean crop**. Revista de Ciências Agrárias 38 (1): 87-93, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317470748_Coinoculacao_de_Bradyrhizobium_japonicum_e_Azospirillum_brasilense_na_cultura_da_soja. Acesso em: 22 jul. 2021.

