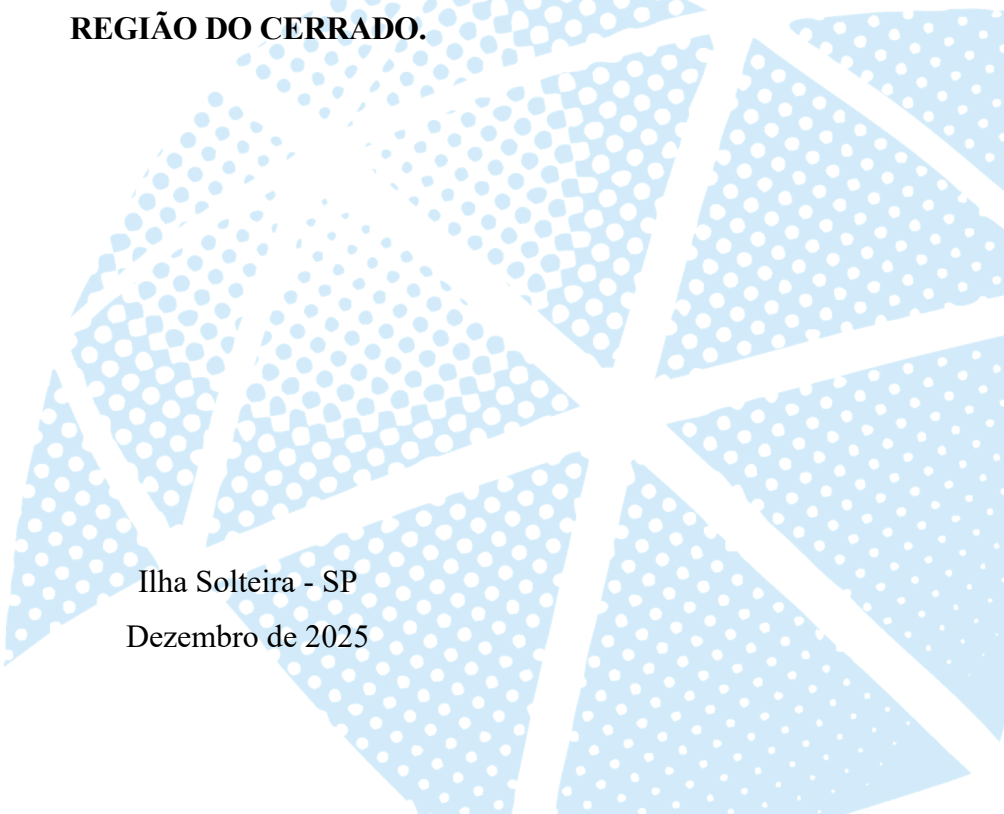


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

DIOGO DOS SANTOS

ROTAÇÃO DE CULTURAS, ADUBAÇÃO VERDE E INOCULAÇÃO DE *Rhizobium tropici* E *Azospirillum brasilense* SOBRE OS COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-COMUM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DO CERRADO.

Ilha Solteira - SP
Dezembro de 2025



DIOGO DOS SANTOS

ROTAÇÃO DE CULTURAS, ADUBAÇÃO VERDE E INOCULAÇÃO DE *Rhizobium tropici* E *Azospirillum brasilense* SOBRE OS COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-COMUM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DO CERRADO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de grau acadêmico Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Prof. Dr. Orivaldo Arf
- Orientador -

Fernando de Souza Buzo
- Coorientador -

Ilha Solteira - SP
Dezembro de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Santos, Diogo dos.

S237r Rotação de culturas, adubação verde e inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* sobre os componentes de produção e produtividade do feijão-comum em sistema plantio direto na região do Cerrado / Diogo dos Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
67 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025

Orientador: Orivaldo Arf

Coorientador: Fernando de Souza Buzo

Inclui bibliografia

1. *Phaseolus vulgaris* L.. 2. Coberturas vegetais. 3. Bactérias promotoras de crescimento. 4. Qualidade biológica do solo.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE
DE ENGENHARIA – UNESP – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO


TÍTULO: ROTAÇÃO DE CULTURAS, ADUBAÇÃO VERDE E INOCULAÇÃO DE *Rhizobium tropici* e *Azospirillum Brasilense* SOBRE OS COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-COMUM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DE CERRADO.

ALUNO: DIOGO DOS SANTOS - RA: 202054772


ORIENTADOR: ORIVALDO ARF

Aprovado (X) Reprovado () pela Comissão Examinadora com nota obtida: 10,0 (dez)

Comissão Examinadora:


Documento assinado digitalmente
 ORIVALDO ARF
Data: 02/12/2025 10:18:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orivaldo Arf

Documento assinado digitalmente
 BRUNA MIGUEL CARDOSO
Data: 02/12/2025 10:48:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Bruna Miguel Cardoso

(Doutoranda em Agronomia)

Documento assinado digitalmente
 NAIANE ANTUNES ALVES RIBEIRO
Data: 02/12/2025 11:45:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Naiane Antunes Alves Ribeiro

(Doutoranda em Agronomia)

Documento assinado digitalmente
 DIOGO DOS SANTOS
Data: 02/12/2025 12:07:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Diogo dos Santos

Aluno

Ilha Solteira (SP), 02 de dezembro de 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, sabedoria e discernimento que me concedeu ao longo dessa jornada, permitindo que eu superasse os desafios com serenidade e seguisse firme em busca dos meus objetivos, sempre com fé e gratidão.

Aos meus pais, Valdemir Alves do e Luciana Mangarrote Franco, por todo amor, apoio e dedicação, sendo meus maiores exemplos de esforço, honestidade e perseverança. Cada conquista é reflexo do incentivo e dos valores que vocês sempre me ensinaram. Aos meus avós, Rubens Franco e Luzia de Fátima Mangarrote Franco, por todo carinho e pelas palavras de incentivo, e aos meus tios, Ana Lúcia Franco e André Aparecido Oliveira, pela presença constante e apoio em todos os momentos. Um agradecimento especial ao meu tio e padrinho Silvanei Franco (*in memoriam*), que, mesmo ausente fisicamente, permanece vivo em minha memória e no meu coração. Sua alegria e bondade continuam sendo inspiração diária, e este trabalho é também uma homenagem à sua lembrança e ao amor que sempre me dedicou. À toda minha família, pelo apoio incondicional em cada etapa dessa trajetória. Aos amigos de graduação, que tornaram essa caminhada mais leve e inesquecível, em especial Julielly, Jhony, Thiago e Guilherme, pela parceria, pela amizade e pelas risadas que tornaram o percurso mais feliz.

À minha namorada Larissa, por todo amor, paciência e incentivo, por acreditar em mim e estar presente em todos os momentos, sendo um apoio fundamental nesta caminhada e ao meu enteado João Antônio, por trazer ainda mais sentido à minha vida e ser uma das razões que me motivam a seguir sempre em frente com dedicação e propósito.

Sou profundamente grato ao meu orientador, professor Dr. Orivaldo Arf, pela orientação segura, paciência e confiança, e ao meu coorientador e amigo Fernando de Souza Buzo, pela dedicação e generosidade em compartilhar seus conhecimentos. Agradeço também aos colegas do grupo de estudos, pela convivência, aprendizado e companheirismo ao longo dos anos.

Meu reconhecimento à técnica de laboratório Selma, pelo apoio constante, paciência e prontidão em todos os momentos, e ao Sinval, pela colaboração essencial nas análises de tecido foliar e pela disposição em ajudar sempre que necessário.

Agradeço à UNESP, pelas oportunidades e estrutura que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, e à FAPESP, pela concessão das duas bolsas de iniciação científica, fundamentais para meu crescimento como aluno e para a realização deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui, deixo meu mais sincero agradecimento e o desejo de que se sintam parte desta conquista.

ROTAÇÃO DE CULTURAS, ADUBAÇÃO VERDE E INOCULAÇÃO DE *Rhizobium tropici* E *Azospirillum brasilense* SOBRE OS COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-COMUM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DO CERRADO

Diogo dos Santos¹

Orivaldo Arf²

Fernando de Souza Buzo³

RESUMO

Práticas como plantio direto, rotação de culturas e inoculação de microrganismos contribuem para o crescimento e a produtividade do feijão-comum, alimento tradicional na dieta brasileira. O estudo foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, em Selvíria (MS), em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de textura argilosa, com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes coberturas vegetais, inoculação e coinoculação de bactérias promotoras de crescimento sobre a fisiologia, os componentes de produção do feijão-comum e a qualidade biológica do solo. O delineamento foi em blocos casualizados, fatorial 5×5, com restos culturais de milho solteiro e consorciado (*U. brizantha*, *U. ruzizensis*, feijão-guandu e *C. spectabilis*) e 4 fatores de inoculação (controle, *A. brasilense*, *R. tropici* e *R. tropici* + *A. brasilense*), além de um controle adicional com adubação nitrogenada (80 kg ha⁻¹ de N). Os consórcios com feijão-guandu e crotalária resultaram em maior eficiência fotossintética e melhores componentes de produção; *U. brizantha* favoreceu a atividade microbiana; e *A. brasilense* e *R. tropici* destacaram-se nas enzimas do solo. A inoculação com *R. tropici*, isolada ou combinada, aumentou a eficiência do uso do nitrogênio e manteve alta produtividade e qualidade de grãos, semelhante ao tratamento nitrogenado.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., coberturas vegetais, bactérias promotoras de crescimento, qualidade biológica do solo.

¹ Graduando do curso de Engenharia Agrônoma, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira.

² Professor Titular do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socioeconomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira.

³ Professor Coorientador do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socioeconomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira.

CROP ROTATION, GREEN MANURING AND INOCULATION WITH *Rhizobium tropici* AND *Azospirillum brasilense* ON THE YIELD COMPONENTS AND PRODUCTIVITY OF COMMON BEAN UNDER NO-TILL SYSTEM IN THE CERRADO REGION

Diogo dos Santos¹

Orivaldo Arf²

Fernando de Souza Buzo³

ABSTRACT

Practices such as no-tillage, crop rotation, and microorganism inoculation contribute to the growth and productivity of common bean. This study was carried out at the Teaching, Research and Extension Farm in Selvíria, MS, on a Typic Dystrophic Red Latosol with clayey texture, aiming to evaluate the effect of different cover crops and the inoculation and co-inoculation of plant growth-promoting bacteria on the physiology, yield components, and soil biological quality in common bean. The experiment followed a randomized block design in a 5×5 factorial scheme, using crop residues from sole maize and maize intercropped with *Urochloa brizantha*, *U. ruziziensis*, pigeon pea, and *Crotalaria spectabilis*, combined with four inoculation treatments (control, *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium tropici*, and *R. tropici* + *A. brasilense*), plus an additional treatment with nitrogen fertilizer (80 kg ha⁻¹ N). Intercropping with pigeon pea and *Crotalaria* enhanced photosynthetic efficiency and yield components; *U. brizantha* increased soil microbial activity; and *A. brasilense* and *R. tropici* stood out in soil enzyme activity. Inoculation with *R. tropici*, alone or combined, increased nitrogen-use efficiency and maintained high grain yield and quality comparable to nitrogen fertilization.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., cover crops, plant growth-promoting bacteria, soil biological quality.

¹ Undergraduate student in Agronomic Engineering, São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Ilha Solteira Campus.

² Full Professor at the Department of Crop Science, Food Technology and Socioeconomics, São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Ilha Solteira Campus.

³ Co-Advising Professor, Department of Plant Science, Food Technology and Socioeconomics, São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Ilha Solteira Campus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Valores diários médios de precipitação pluviométrica (mm), temperatura máxima, mínima e média (°C) coletadas durante a condução do experimento. Selvíria (MS), 2024.	21
Figura 2 – Instalação do experimento: Semeadura da cultura, 13/05/2024.	63
Figura 3 – Plântulas com um dia após a emergência, 20/05/2024.	63
Figura 4 – Desenvolvimento das plantas no dia do estaqueamento das parcelas, 23/05/2024.	64
Figura 5 – Primeira aplicação de <i>Azospirillum brasilense</i> , 28/05/2024.	64
Figura 6 – Aspecto geral da cultura na adubação nitrogenada, 11/06/2024.	65
Figura 7 – Aspecto geral da cultura na segunda aplicação de <i>Azospirillum brasilense</i> , 17/06/2024.	65
Figura 8 – Aspecto geral da cultura no dia 27/06/2024.	66
Figura 9 – Colheita e secagem das parcelas experimentais, 09/08/2024.	66
Figura 10 – Início das análises de compostos nitrogenados, clorofilas a, b e carotenoides, 12/08/2024.	67
Figura 11 – Início da análise de rendimento de peneira, 10/10/2024.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores obtidos da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e nitrogênio foliar, de plantas de feijão-comum. Selvíria (MS), 2024.	28
Tabela 2 – Desdobramento da interação significativa entre os fatores de cobertura vegetal e inoculação para os valores de Massa Seca da Parte Aérea. Selvíria (MS), 2024.	30
Tabela 3 – Valores da população, número de vagens por planta (NVP), número grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de plantas de feijão-comum. Selvíria (MS), 2024.	31
Tabela 4 – Valores médios para peneiras de crivos oblongos de diferentes tamanhos dado em porcentagem, para a cultivar IAC 2051. Selvíria (MS), 2024.	35
Tabela 5 – Valores obtidos para Clorofila A (CLA), Clorofila B (CLB), Clorofila Total (CLT), Carotenoides (CAR), Feofitina A (FEA), Feofitina B (FEB) e Feofitina Total (FET) de plantas de feijão-comum. Selvíria (MS), 2024.	37
Tabela 6 – Desdobramento da interação significativa entre cobertura vegetal e inoculação para os teores de clorofila A, clorofila B, clorofila total e carotenoides presentes nas folhas de feijão comum. Selvíria (MS), 2024.	39
Tabela 7 – Desdobramento da interação significativa entre cobertura vegetal e inoculação para os teores de feofitina A, feofitina B e feofitina total e carotenoides presentes nas folhas de feijão comum. Selvíria (MS), 2024.	41
Tabela 8 – Valores obtidos para Proteínas (PRO), Ureídeos (URE), Ácido Alantoico (ALA), Amônio (AMO) e Nitrato (NIT) de plantas de feijão-comum. Selvíria (MS), 2024.	43
Tabela 9 – Desdobramento da interação significativa entre cobertura vegetal e inoculação para os teores de proteínas, ureídeos, ácido alantoico e nitrato presentes nas folhas de feijão comum. Selvíria (MS), 2024.	46
Tabela 10 – Valores para análise da atividade enzimática do solo das enzimas Arilsulfatase, β -Glicosidase e Desidrogenase. Selvíria (MS), 2024.	47
Tabela 11 – Desdobramento da interação significativa entre os fatores de cobertura vegetal e inoculação para os valores de atividade enzimática da Arilsulfatase. Selvíria (MS), 2024.	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	CULTURA DO FEIJÃO COMUM.....	14
3.2	SISTEMA DE PLANTIO DIRETO E COBERTURA VERDE	15
3.3	INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO	17
3.4	ATIVIDADE ENZIMÁTICA NO SOLO	18
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	53
	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA EM CAMPO	63

1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pode proporcionar efeitos benéficos à saúde devido às suas propriedades químicas e qualidades nutricionais. Este grão desempenha um papel crucial na alimentação dos brasileiros, sendo uma fonte primordial de proteína vegetal (Silva; Wander, 2013). Além disso, essa espécie vegetal desempenha uma função fundamental no contexto social, sendo cultivada como cultura de subsistência e em pequenas propriedades, contribuindo significativamente para a segurança alimentar. Ademais, possui relevância tanto agrônômica quanto econômica (Manos *et al.*, 2013).

O método de plantio direto detém grande importância na produção agrícola brasileira, pois reduz os custos associados à produção, aumenta significativamente a eficiência na utilização de insumos e mão de obra, além de possibilitar a observância do calendário agrícola (Motter; Almeida, 2015). De acordo com Alvarenga *et al.* (2001), o sistema plantio direto (SPD) representa a principal inovação tecnológica na agricultura, sendo o seu êxito atribuído ao ambiente propício ao crescimento vegetal proporcionado pelo acúmulo de palhada proveniente de culturas comerciais anteriores ou culturas de cobertura deixadas sobre o solo. Isso contribui para a estabilidade da produção e a preservação e restauração da qualidade do solo.

Para o êxito do SPD, é imperativo um manejo diferenciado, pois não se trata apenas de um sistema de conservação do solo, mas sim de um conjunto de características específicas decorrentes dos fatores associados a esse tipo de produção, como a ausência de revolvimento do solo, o conseqüente acúmulo de resíduos culturais e a ampla variedade de plantas adotadas no sistema de rotação (Lopes *et al.*, 2004). Conforme enfatizado por Gassen (2010), para alcançar os resultados desejados e assegurar a sustentabilidade dos sistemas de produção, é essencial a integração de três pilares fundamentais: revolvimento mínimo do solo, rotação de culturas e formação de palhada.

A rotação de culturas é considerada um dos princípios essenciais para a qualidade do sistema plantio direto, trazendo benefícios aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Além disso, ela desempenha um papel crucial no controle de pragas, doenças e plantas invasoras, bem como na ciclagem de nutrientes, resultando em estabilidade produtiva e potencial redução nos custos de produção, otimizando o uso de insumos (Franchini *et al.*, 2011).

A prática de adubação verde pode ser adotada como parte da rotação de culturas, visando gerar fitomassa para o SPD e promover processos biológicos, como a fixação de nitrogênio. Isso é alcançado por meio da associação de leguminosas com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. A escolha da espécie a ser utilizada deve levar em consideração diversos

fatores, como hábito de crescimento, periodicidade, produção de massa verde e seca, além da não propensão a hospedar pragas e doenças (Espíndola; Guerra; Almeida, 1997). Conforme destacado por Acosta *et al.* (2014), diferentes resíduos vegetais provenientes de plantas de cobertura influenciam na mineralização e imobilização de nitrogênio no solo, sendo essa influência principalmente afetada pela relação C/N desses materiais.

A associação de microrganismos benéficos com plantas de interesse econômico, visando beneficiar as culturas e aumentar a produtividade, tem sido objeto de estudos a longo prazo, embora ainda seja pouco explorada na agricultura, especialmente quando se busca a substituição de fertilizantes químicos. Esses microrganismos incluem bactérias capazes de promover o crescimento das plantas e realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN), com destaque para os rizóbios, específicos para leguminosas, e as bactérias do gênero *Azospirillum* (Hungria *et al.*, 2013).

Dentre as práticas de inoculação, a coinoculação, que envolve o uso de duas estirpes ou espécies de microrganismos, é associada à combinação de cepas que atuam em diferentes processos microbianos, cada uma proporcionando benefícios distintos. Isso se reflete principalmente na produtividade das culturas agrícolas (Santos *et al.*, 2019). Segundo Ahemad e Kibret (2014), as bactérias do gênero *Rhizobium* são responsáveis principalmente pela FBN, enquanto as bactérias do gênero *Azospirillum* são responsáveis pela produção de reguladores de crescimento. A associação desses microrganismos benéficos pode influenciar positivamente no desenvolvimento vegetal, atuando também na solubilização de fosfatos e no biocontrole, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Diante dessa perspectiva agrícola, é necessário realizar estudos que comprovem o efeito sinérgico da inoculação e coinoculação de microrganismos benéficos, como *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, assim como o efeito de coberturas vegetais na cultura do feijão-comum cultivados em rotação em área de SPD consolidado, propondo-se avaliar o desenvolvimento da cultura citada e a produtividade de seus grãos.

2 OBEJTIVO

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de coberturas vegetais, consórcio de culturas, manejo da inoculação e coinoculação de bactérias promotoras de crescimento (*Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*) e adubação nitrogenada em sistema plantio direto já consolidado, no desenvolvimento e produção da cultura do feijão-comum, bem como avaliar a saúde do solo por meio da análise de enzimas indicadoras de sua qualidade biológica, em solo originalmente sob vegetação de Cerrado.

A hipótese testada foi:

- A quantidade de massa seca produzida de milho, de leguminosa e de gramínea do cultivo realizado em safra anterior pode interferir na resposta do feijão-comum cultivado em rotação com inoculação de microrganismos benéficos, em sistema plantio direto.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CULTURA DO FEIJÃO-COMUM

O feijoeiro é geralmente reconhecido como uma leguminosa que oferece uma fonte proteica de alta qualidade e possui propriedades antioxidantes que contribuem para a prevenção de doenças. Essa característica é atribuída à presença de diversos compostos vitamínicos, minerais e fenólicos. O feijão, sendo um dos pratos tradicionais mais emblemáticos da culinária brasileira, desempenha um papel de destaque. Além disso, o feijoeiro possui significativa importância tanto do ponto de vista social quanto econômico no Brasil. Essa relevância é decorrente, principalmente, da considerável demanda por mão de obra ao longo de seu ciclo produtivo, bem como de sua ampla procura e acessibilidade, especialmente para a parcela da população menos favorecida (Posse *et al.*, 2010).

O Brasil ocupa a segunda posição no ranking mundial de produtores de feijão, com produção anual de aproximadamente 3 milhões de toneladas, sendo superado apenas pela Índia que detém produção de 6,49 milhões de toneladas por ano. Notavelmente, não se observa significativos excedentes de feijão destinados à exportação, ao contrário do que ocorre com outros grãos (FAO, 2023). Aproximadamente 70% da produção total no Brasil de feijão provém de estabelecimentos dedicados à agricultura familiar (Mattei, 2014).

Devido às distintas épocas de cultivo do feijoeiro, a oferta desse produto permanece estável ao longo de todo o ano, e seu ciclo curto proporciona aos produtores uma ampla janela de cultivo. Apesar de os estados do Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás serem os principais produtores de feijão no país, é importante ressaltar que a região Nordeste apresenta uma área de cultivo superior à soma das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, embora registre uma produção menor. Essa disparidade é atribuída ao baixo nível de tecnologia e assistência técnica, bem como à descapitalização dos produtores familiares presentes na região Nordeste (Coelho, 2021). Apesar de sua importância, ainda pode ser considerado baixa utilização de tecnologia em seu cultivo, principalmente em primeira e segunda safra, resultando em baixa produtividade, equivalente a 1.097 kg ha⁻¹ em 2023. (Conab, 2023)

O cultivo do feijão abrange a totalidade do território brasileiro, seja em sistema solo ou consorciado com outras culturas, e convencionalmente é semeado em três distintas épocas ou safras. A semeadura da primeira safra, conhecida como "das águas", ocorre entre os meses de setembro e novembro. A segunda safra, denominada "da seca", é semeada de janeiro a março,

enquanto a terceira, denominada “de inverno”, normalmente com utilização de irrigação, é realizada entre maio e junho. Contudo, é relevante observar que esse critério não é totalmente preciso, uma vez que os plantios ocorrem ao longo de todo o ano no território nacional. Além disso, muitas vezes, há sobreposição de safras devido à variabilidade de sistemas e períodos de plantio, situação agravada pela presença de diversas variedades de feijão em muitas regiões (Ferreira; Barrigossi, 2021).

No que diz respeito aos elementos climáticos que exercem maior influência na produção de feijão, destacam-se a temperatura, radiação solar e precipitação pluvial. Contudo, entre esses fatores, a precipitação é identificada como a principal responsável por reduções significativas na produtividade da cultura do feijoeiro (Pereira *et al.*, 2014). Segundo Dourado Neto e Fancelli (2000), a necessidade hídrica prevista para o feijoeiro ao longo de seu ciclo completo varia de 300 mm a 600 mm, abrangendo todos os seus estágios de desenvolvimento.

O nitrogênio representa o nutriente mais absorvido pelo feijoeiro-comum, desempenhando um papel crucial na obtenção de elevados rendimentos nessa cultura. Reconhece-se, portanto, a importância fundamental de empregar técnicas que otimizem a absorção desse elemento (Crusciol *et al.*, 2007). A capacidade dessa leguminosa em estabelecer simbiose com bactérias conhecidas como os rizóbios é notável, proporcionando a fixação e disponibilização do nitrogênio atmosférico. Esse processo cria condições favoráveis para a redução do uso de fertilizantes nitrogenados. Adicionalmente, a prática de coinoculação com outras bactérias associativas promotoras de crescimento tem sido amplamente adotada por produtores brasileiros (Coelho *et al.*, 2021).

3.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO E COBERTURA VERDE

Um dos elementos preponderantes para o êxito do SPD reside na acumulação de palhada depositada acima da superfície do solo, desempenhando a função de escudo contra o impacto direto das chuvas. Essa camada tem o papel de minimizar ou até mesmo impedir o processo de erosão. Ela obstrui a fácil penetração dos raios solares no solo, reduzindo também a ação dos ventos. Dessa forma, forma-se uma película que preserva a umidade na camada superficial do solo, atenuando a temperatura e propiciando condições favoráveis para os processos de infiltração e armazenamento de água. Tal condição resulta na diminuição da taxa de evaporação do solo (Alvarenga *et al.*, 2001).

Para efetuar a transição de um sistema produtivo convencional para um modelo sustentável, torna-se imperativa a reestruturação das propriedades físicas, químicas e biológicas

do solo (Altieri, 1999). A incorporação de práticas conservacionistas, a exemplo da utilização de plantas de cobertura, emerge como uma estratégia viável e essencial para essa transformação (Carneiro *et al.*, 2004).

Conforme destacado por Salomão *et al.* (2020), a presença de palha desempenha um papel crucial no SPD, contribuindo para a restauração da biodiversidade do solo por meio da rotação de culturas. A incorporação gradual e lenta da palha propicia o acúmulo de matéria orgânica, resultando na disponibilização de nutrientes e compostos orgânicos para as plantas por meio do processo de mineralização da palhada, com a ação simultânea de microrganismos.

A rotação de culturas no SPD frequentemente envolve espécies que não geram receita direta, mas desempenham um papel essencial na manutenção da produtividade. A escolha dessas culturas deve considerar a capacidade de gerar fitomassa, a habilidade de ciclar e incorporar nutrientes no solo, além da compatibilidade com o ciclo da cultura de interesse econômico. O manejo dessas culturas deve ser realizado durante o período de floração, quando a planta alcança a máxima produção de fitomassa (Kochhann; Denardin, 2000). De acordo com Sodré Filh  *et al.* (2004), o SPD apresenta maior produ o de biomassa vegetal em compara o com o sistema convencional.

Os benefícios da rota o de culturas no SPD transcendem o aumento da produtividade, uma vez que essa prática promove condi es propícias para a redu o da incidência de pragas e doenças. A ciclagem de nutrientes, a alternância na atividade biológica e a produ o de fenóis e exsudatos dificultam a atividade e a sobrevivência de pragas e fungos patog nicos, ao mesmo tempo em que estimulam o controle biológico natural (Gassen, 2010).

As leguminosas estabelecem uma associa o simbiótica com bactérias responsáveis pela FBN e apresentam uma baixa rela o C/N, facilitando a decomposi o rápida e mineraliza o, resultando em um notável aporte de nitrogênio no solo, conforme indicado por (Partelli *et al.*, 2011). Conforme evidenciado por Kappes *et al.* (2015) esse fen meno respalda a diminui o das doses de nitrogênio em cobertura para cultivos de milho. Segundo Padovan *et al.* (2015), o aumento do acúmulo de nitrogênio pelas leguminosas corresponde a uma maior contribui o de nitrogênio atmosférico ao sistema solo-planta. Em contrapartida, o acúmulo mais significativo desse nutriente por parte das gramíneas resulta em uma ciclagem mais eficaz, reduzindo a percola o de íons (NH_4^+ e NO_3^-) ao longo do perfil do solo e, conseqüentemente, minimizando a contamina o das águas subterrâneas.

Como destacado por Perin *et al.* (2004), por outro lado, as espécies gramíneas desempenham um papel crucial na mitiga o das perdas de nitrogênio, promovendo sua ciclagem e uma cobertura prolongada do solo devido   sua elevada rela o C/N.

Recomenda-se fortemente a prática de consórcio entre espécies vegetais com diferentes arquiteturas de plantas e padrões de crescimento do sistema radicular. Essa abordagem é essencial, uma vez que as distintas fitofisionomias e fisiologias colaboram para otimizar a utilização de água, luz e nutrientes, resultando em um maior acúmulo de fitomassa por unidade de área em um determinado intervalo de tempo (Costa *et al.*, 2010).

3.3 INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO

Em razão da crescente busca por sustentabilidade nos sistemas agrícolas de produção, alguns autores têm apresentado, também como forma alternativa para a economia de fertilizante nitrogenado, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) a qual pode suplementar ou, até mesmo, substituir a utilização desses fertilizantes com o uso de bactérias fixadoras de N e promotoras do crescimento de plantas (HUNGRIA *et al.*, 2010).

Entre os fatores identificados como restritivos para a produção de grãos no Brasil, o nitrogênio emerge como um elemento destacado. No entanto, a fixação biológica desse nutriente pelas leguminosas desempenha um papel crucial no desenvolvimento da cultura, apresentando potencial para substancialmente reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados. Isso é especialmente evidenciado pelo uso de inoculantes, como no caso da aplicação de estirpes de *Bradyrhizobium* na soja, resultando em uma economia de até 95% das demandas nutricionais da cultura (Hungria *et al.*, 2006).

De acordo com Martins *et al.* (2003), bactérias do gênero *Rhizobium* demonstram habilidade para colonizar as raízes do feijão de maneira eficiente, formando nódulos de maneira eficaz e contribuindo para maiores produtividades por meio da fixação de nitrogênio, o que, por sua vez, resulta na redução dos custos finais associados aos fertilizantes. Portanto, é imperativo a seleção criteriosa de linhagens de bactérias eficazes ao considerar a adoção da prática de inoculação nesta cultura.

Conforme discutido por Hungria *et al.* (2013) além dos rizóbios específicos associados às leguminosas, é digno de nota que outros microrganismos, tais como o grupo das bactérias promotoras do crescimento de plantas, desempenham um papel benéfico nas culturas por meio de diversos processos. Esses processos incluem a produção de hormônios de crescimento e a capacidade de realizar FBN, entre outros. Entre as bactérias que se destacam nesse contexto, encontram-se aquelas pertencentes ao gênero *Azospirillum*.

Os benefícios que bactérias do gênero *Azospirillum* podem promover às plantas são variados, sendo capazes de produzir fitohormônios que estimulem o crescimento de raízes,

aumentar a tolerância a estresses bióticos e abióticos, além de agirem na absorção de água e minerais. Com a junção de todos esses fatores é possível obter uma planta mais rigorosa, produtiva e capaz de tolerar agentes patogênicos (HUNGRIA, 2011). Segundo Schossler *et al.* (2016), com a inoculação de estirpes de *R. tropici* e *Azospirillum* e coinoculação de *Rhizobium* juntamente com *Azospirillum*, obteve-se maiores produtividades para a cultura do feijão-comum.

A técnica de inoculação que consiste em combinar mais de uma categoria de bactérias que apresentem efeito benéfico as plantas é denominada de coinoculação e, segundo indicações da Embrapa, a inoculação anual em culturas que, antes era somente feito com estirpes de *Bradyrhizobium*, passou a ser usada em conjunto com uma segunda bactéria, do gênero *Azospirillum*, que apesar de primordialmente ser recomendada apenas para gramíneas, apresentou significativas respostas positivas para leguminosas (PRANDO *et al.*, 2019). A coinoculação com bactérias promotoras de crescimento pode trazer benefícios significativos, como o aumento da nodulação, melhorias no crescimento das plantas e respostas a organismos fitopatogênicos (RODRIGUES *et al.*, 2012). Segundo Braccini *et al.* (2016), essa prática se torna uma ótima opção ao proporcionar menor custo para o produtor.

Na cultura do feijão, constatou-se que a inoculação de sementes com *A. brasilense* resultou em níveis superiores de teor de nitrogênio foliar no tratamento em que não foi fornecido nitrogênio em cobertura. Além disso, essa prática propiciou um retorno econômico satisfatório, considerando a dose de inoculante empregada e as condições climáticas da região de estudo (Gitti *et al.* 2012). Em uma análise conduzida por Meirelles *et al.* (2014), que considerou a coinoculação de *A. brasilense* e *R. tropici* em feijão irrigado, observou-se um incremento na produtividade de grãos, associado a um aumento significativo no número e massa de nódulos na raiz principal, bem como na massa da parte aérea da planta.

O emprego de microrganismos na agricultura transcende a fixação de nitrogênio, estendendo-se à promoção do crescimento geral das plantas. Além do *A. brasilense* e *R. tropici*, diversas bactérias, pertencentes ao grupo denominado rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCPs), são reconhecidas por seus efeitos benéficos. Essas RPCPs facilitam a absorção mais eficiente de nutrientes e água pelas plantas, promovendo o desenvolvimento ampliado de seus sistemas radiculares. Elas apresentam potencial para desempenhar funções como biofertilizantes, fitoestimulantes, rizoremediadoras e biopesticidas, contribuindo para aprimorar a saúde das plantas e potencializar seu crescimento (Albernas, 2019).

3.4 ATIVIDADE ENZIMÁTICA NO SOLO

A atividade enzimática é um parâmetro fundamental para avaliar a qualidade do solo, pois as enzimas catalisam uma série de reações bioquímicas essenciais para a regeneração microbiológica do solo. Essas reações incluem a transformação da matéria orgânica e a liberação de nutrientes inorgânicos indispensáveis para o crescimento adequado das plantas e para o ciclo desses elementos. Assim, a atividade enzimática se apresenta como um indicador prático e sensível da qualidade do solo, com respostas rápidas às diferentes práticas de manejo agrônomo e às variações ambientais, sendo, portanto, uma ferramenta valiosa para a avaliação da saúde e fertilidade dos solos (Adetunji *et al.*, 2017). O estudo da atividade de enzimas-chave, como β -glucosidase, arilsulfatase e desidrogenase, permite uma compreensão mais aprofundada da atividade microbiana e de sua relação com os ciclos dos principais elementos, bem como sua disponibilidade para as plantas (Albiach *et al.*, 2000).

Devido à sua sensibilidade às práticas de manejo, ao estresse ambiental e à presença de matéria orgânica, além da facilidade de sua determinação, a enzima β -glucosidase destaca-se como um indicador promissor para a avaliação da qualidade do solo. Amplamente distribuída na natureza e intimamente ligada ao ciclo do carbono, essa enzima desempenha um papel fundamental ao catalisar a hidrólise de glicosídeos, contribuindo para a degradação enzimática da celulose em duas moléculas por meio da clivagem da celobiose. Esse processo transforma compostos complexos presentes no solo em fontes indispensáveis de nutrientes para os microrganismos (Turner *et al.*, 2000; Almeida; Naves; Mota *et al.*, 2015).

A arilsulfatase é uma enzima envolvida na mineralização de ésteres de sulfato presentes no solo, cuja função principal é catalisar a hidrólise de sulfatos aromáticos, liberando sulfato inorgânico, o qual é a forma disponível desse elemento para as plantas. Essa característica torna a arilsulfatase um excelente indicador da saúde do solo, uma vez que está associada à decomposição da matéria orgânica e à ciclagem de nutrientes (Nogueira; Melo, 2003). Conforme destacado por Paiva e Nicodemo (1994), o enxofre é um elemento de extrema importância para as plantas, devido esse nutriente desempenhar papel importante em diversas moléculas do metabolismo, como sua presença em aminoácidos como a metionina, cisteína e cistina, que são necessários para formação de inúmeras proteínas.

A atividade da enzima desidrogenase é amplamente reconhecida como uma medida potencial da atividade microbiana no solo visto que é classificada como uma oxirredutase e desempenha um papel fundamental no processo de degradação oxidativa, catalisando a oxidação de compostos orgânicos e participando da transferência de elétrons na cadeia respiratória de microrganismos aeróbios (Kumar; Chaudhuri; Maiti, 2013). Predominantemente

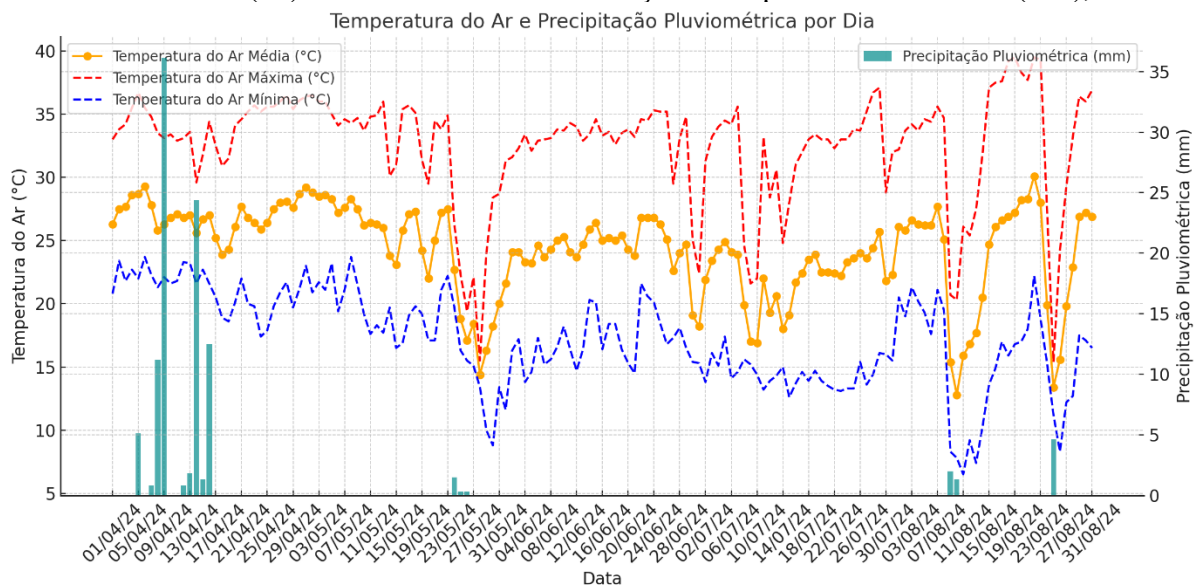
localizada no interior das células microbianas, a atividade das desidrogenases está diretamente relacionada à biomassa da comunidade microbiana, de modo que um aumento em sua atividade reflete um incremento nessa biomassa (García *et al.*, 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), ao qual pertence a Faculdade de Engenharia - UNESP, Campus de Ilha Solteira, localiza no município de Selvíria (MS), numa altitude de cerca de 335 metros e aproximadamente a 51°22' de longitude oeste de Greenwich e 20°22' de latitude sul. O clima da região pode ser caracterizado por temperatura média anual de 23,5°C, umidade relativa variando entre 70% a 80% e precipitação média anual de 1370 mm, enquadrando-se na classificação Aw de Köppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Alvares *et al.*, 2013). Segundo Santos *et al.* (2018), o solo do local enquadra-se na classificação de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico.

O gráfico contido na figura 1 mostra variações de temperatura do ar (média, máxima e mínima) ao longo do período correspondente aos meses de condução da pesquisa em campo, juntamente com os dados de precipitação pluviométrica. Observa-se que houve períodos sem ocorrência de chuva, ressaltando a importância da irrigação para manter as condições ideais de cultivo. Além disso, destacam-se períodos de alta temperatura, com a máxima atingindo 39,5°C, enquanto a mínima registrada foi de 6,5°C, evidenciando uma ampla amplitude térmica que pode impactar significativamente as condições de campo na pesquisa.

Figura 1 – Valores diários médios de precipitação pluviométrica (mm), temperatura máxima, mínima e média (°C) coletadas durante a condução do experimento. Selvíria (MS), 2024.



Fonte: [Canal CLIMA da UNESP Ilha Solteira](#)

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados disposto em esquema fatorial 5x5, cujos tratamentos foram constituídos pela combinação dos restos culturais de milho solteiro; Milho + *Urochloa brizantha*; Milho + *Urochloa ruziziensis*; Milho + feijão guandu; Milho + *Crotalaria spectabilis*, associado à 5 fatores de inoculação: sem inoculação; *Azospirillum brasilense* (200 mL/ha) aplicado via foliar em V₂/V₃; *Rhizobium tropici* (200 mL/ha) via inoculação de sementes; *Rhizobium tropici* (200 mL/ha) via inoculação de sementes + *Azospirillum brasilense* (200 mL/ha) aplicado via foliar em V₂/V₃, juntamente com um fator adicional constituído de adubação nitrogenada em cobertura recomendada para o feijão-comum de 80 kg ha⁻¹ de N, com quatro repetições para cada tratamento. As parcelas foram constituídas por 7 linhas de feijão espaçadas de 0,45 m entre si, com 7,5 m de comprimento. Para todas as avaliações feitas, considerou-se como área útil da parcela suas linhas centrais, considerando-se como bordadura as linhas laterais da parcela e 0,5 m em ambas as extremidades.

A área experimental originalmente era ocupada pela vegetação de Cerrado, com o sistema de plantio direto sendo iniciado há mais de 15 anos, cultivando-se sempre culturas anuais. Na safra de verão 2022/2023, a área foi ocupada pela cultura do milho consorciado, seguida pelo cultivo de feijão-caupi e, posteriormente, arroz de terras altas (subprojeto do projeto FAPESP número 2022/09054-5), antes da semeadura do feijão comum do atual projeto.

No mês de abril de 2024, foi realizada a colheita do arroz de terras altas para, então, iniciar a semeadura do feijão-comum. No entanto, aguardou-se algumas semanas para realizar todas as adequações necessárias ao início do projeto. Duas semanas antes da semeadura, foi aplicada uma dose de 1.560 g ha⁻¹ do ingrediente ativo do herbicida glifosato para dessecação da vegetação existente na área de cultivo, que poderia afetar o desenvolvimento inicial da cultura.

A cultivar de feijão-comum utilizada foi a IAC 2051, do grupo comercial carioca, com hábito de crescimento indeterminado do tipo II e precoce, de arquitetura ereta, com tempo estimado para colheita de 85 dias, massa de 1000 grãos de 330 g, peneira 14/13, germinação de 87% e potencial produtivo de aproximadamente 77 sacas por hectare. A cultivar também apresenta resistência média às principais doenças, como *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, crestamento bacteriano e é tolerante ao escurecimento e ao acamamento, que faz jus as características descritas por Melo (2009) para essa cultivar. As sementes foram tratadas com o fungicida Vithavax®-Thiran diretamente pelo fornecedor.

A semeadura foi realizada no dia 13 de maio de 2024, e as sementes foram devidamente tratadas momentos antes da semeadura com piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil, nas doses de 5, 45 e 50 g do i.a. para cada 100 kg de sementes, visando o controle prévio de pragas e doenças do solo. Após o processo de secagem dos químicos, uma porção das sementes foram submetidas

a inoculação com *Rhizobium tropici*, estirpe SEMIA 4088, na dose de 200 mL/ha do inoculante comercial contendo 2×10^9 ufc/mL, a fim de compor as parcelas designadas para esse tratamento, sendo este processo feito em local de sombra, seguindo as orientações básicas para tal processo e realizando a semeadura logo em seguida. Em contraste, a outra porção das sementes não recebeu tal tratamento, constituindo as parcelas denominadas "testemunhas" ou aquelas que apenas foram posteriormente co-inoculadas com *A. brasilense*.

Após a completa secagem do inoculante, procedeu-se à semeadura utilizando uma semeadora mecânica apropriada para o plantio direto. A disposição das sementes foi realizada com espaçamento de 0,45 m entrelinhas, com a regulagem ajustada para 13,3 sementes por metro, a fim de alcançar a densidade adequada de 12-13 plantas m^{-1} , considerando a taxa de germinação das sementes. Para a adubação no sulco de semeadura, seguiu-se as orientações baseadas na análise química do solo e nas recomendações de Wutke *et al.* (2022), empregando-se, assim, 250 kg/ha da formulação 08-28-16 (NPK).

Na área experimental, procedeu-se à semeadura com a semeadora, realizando quatro passagens contendo sementes sem inoculação e, posteriormente, outras quatro passagens contendo as sementes devidamente inoculadas. Essa configuração foi estabelecida de modo a garantir que uma das passagens da semeadora, compreendendo sete linhas de semeadura, ficasse sem inoculação, enquanto a passagem adjacente, localizado abaixo do primeiro, recebesse as sementes inoculadas. Ao fim da semeadura da área útil do experimento, semeou-se as bordaduras. A emergência das plantas ocorreu no dia 19/05/2024 e o estaqueamento das parcelas, de acordo com o delineamento proposto, foi realizado 4 dias após esse fenômeno (23/05/2024).

Com 9 dias após a emergência (DAE) das plântulas, foi realizada a coinoculação com *A. brasilense*, com aplicação via foliar do inoculante, por meio de um pulverizador costal, na dose de 200 mL/ha do produto comercial contendo 3×10^8 ufc/mL das estirpes AbV₅ e AbV₆. Foi colocado 20 mL do produto dentro do pulverizador costal de 20 litros e, para maior espalhamento, aumento da aderência das gotas nas folhas e eficácia de aplicação, foi utilizado o adjuvante Brutal Citrus, da empresa Minho Fértil, e para melhor recobrimento das plantas foi utilizado um bico cônico. A aplicação ocorreu entre V2 e V3, respeitando condições ambientais favoráveis para tal, como baixa velocidade do vento, temperatura amena, tempo nublado e aplicação entre 16h00 e 17h00. Foi realizada uma segunda aplicação de *A. brasilense* no dia 17 de junho de 2024, como complemento da primeira utilizando a mesma dosagem.

Em função do surgimento de plantas daninhas eudicotiledôneas e visando o controle inicial de pragas na cultura, foi realizada, no dia 4 de junho de 2024, uma aplicação na área experimental de 225 g por hectare do ingrediente ativo fomesafem, em conjunto com acetamiprido e

piriproxifem, nas concentrações de 60 g e 30 g de ingrediente ativo por hectare, respectivamente. Foi adicionado 50 mL a cada 100 litros de calda do adjuvante Extravon.

A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada em 11 de junho de 2024, empregando como fonte de nitrogênio a ureia e o sulfato de amônia, que além de disponibilizar nitrogênio também é uma fonte de enxofre. A dose aplicada foi reduzida pela metade em relação à quantidade recomendada para a cultura, considerando a contribuição dos restos vegetais e dos microrganismos inoculados, que poderiam fornecer os outros 50% do nitrogênio necessário para o desenvolvimento da cultura. Dessa maneira, nas parcelas em que foram aplicadas as inoculações e co-inoculações, utilizou-se a quantidade de 40 kg de nitrogênio na forma de sulfato de amônia por hectare. Para fins de avaliação de um parâmetro adicional, nas parcelas testemunhas, 3 das 7 linhas de cultivo foram adubadas com a dose total recomendada de nitrogênio para a cultura, ou seja, 80 kg/ha, onde metade utilizou-se a ureia como fonte de nitrogênio e a outra metade o sulfato de amônio. Após a aplicação a área foi irrigada com uma lâmina de 15 mm de água. Na mesma data o feijão-comum estava com 23 dias após a emergência.

Para garantir o bom desenvolvimento da cultura em campo, foi necessário realizar uma série de aplicações com diferentes ingredientes ativos, visando o controle e a prevenção de pragas, doenças e plantas invasoras. As aplicações realizadas na cultura de feijão comum foram as seguintes:

- Em 13 de junho de 2024, aplicaram-se 82,5 g/ha de fenoxaprope-p-etílico, 60 g/ha de acetamiprido, 30 g/ha de piriproxifem, 75 g/ha de trifloxistrobina, e 32 g/ha de ciproconazol, juntamente com espalhante adesivo.
- Em 21 de junho de 2024, procedeu-se à aplicação de 50 g/ha de acetamiprido, 25 g/ha de piriproxifem, 450 g/ha de acefato, e 1,5 kg/ha de mancozebe, mais espalhante adesivo.
- Em 28 de junho de 2024, aplicaram-se 500 g/ha de procimidona, 60 g/ha de acetamiprido, 30 g/ha de piriproxifem, 75 g/ha de trifloxistrobina, e 32 g/ha de ciproconazol, juntamente com espalhante adesivo.
- Em 10 de julho de 2024, procedeu-se à aplicação de 500 g/ha de procimidona, 75 g/ha de acetamiprido, 75 g/ha de bifentrina, 75 g/ha de trifloxistrobina, 32 g/ha de ciproconazol, e 1,5 kg/ha de mancozebe, mais espalhante adesivo.
- Em 24 de julho de 2024, aplicaram-se 82,5 g/ha de acetamiprido, 82,5 g/ha de bifentrina, 75 g/ha de trifloxistrobina, 32 g/ha de ciproconazol, e 400 g/ha de clorantraniliprole, mais espalhante adesivo.

O manejo de água da cultura do feijão comum foi realizado com auxílio do Prof. Dr. Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues, docente do departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos do Câmpus de Ilha Solteira, atuante na área de meteorologia agrícola e nos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Foi utilizada a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) a partir da evaporação diária do tanque Classe A e utilizados cinco coeficientes de cultura (K_c), adaptados e distribuídos em cinco períodos compreendidos entre a semeadura e a colheita de acordo com a escala fenológica de Fernandez *et al.* (1986). Para a fase V₀-V₂ será utilizado o valor de 0,3; para a fase V₃-V₄ o valor de 0,70, para a fase R₅-R₇ o valor de 1,05, para a fase R₈ o valor de 0,75 e na fase R₉ o valor de K_c de 0,25, de acordo com Soratto *et al.* (2003) e Arf *et al.* (2004)

Os demais tratos culturais e fitossanitários foram os normalmente recomendados à cultura do feijão de outono-inverno para a região.

Em 09 de agosto de 2024, procedeu-se à colheita manual das parcelas experimentais. Foram colhidas duas linhas de 3 metros de extensão, com o propósito de mensurar a produtividade de grãos. As plantas colhidas foram retiradas e deixadas para secagem completa sob exposição direta ao sol. Posteriormente, após a secagem completa, as plantas foram submetidas à trilha mecânica para a separação dos grãos, para então prosseguir com as análises. No mesmo dia, colheu-se seis plantas ao acaso de cada parcela para realizar a mensuração dos seguintes parâmetros: número de vagens por planta, número médio de grãos por vagem e por planta, e a massa de 100 grãos.

As avaliações realizadas foram:

- **Massa de matéria seca da parte aérea:** No dia 02/07/2024, por ocasião do florescimento pleno das plantas, foram coletadas 6 plantas em local pré-determinado na área útil das parcelas, acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e levadas ao laboratório onde foram acondicionadas em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 60-70 °C até atingir massa em equilíbrio. Posteriormente as amostras foram pesadas e os valores convertidos em grama por planta.

- **Análise do teor de nitrogênio foliar:** As folhas foram coletadas no estágio R₆ (florescimento pleno), no mesmo dia que foram coletadas as plantas para determinar massa de matéria seca da parte aérea, onde então foram submetidas à lavagem com água destilada, acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa para secagem e posteriormente foram

moídas para análise do teor de N total, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997).

- **Clorofilas a e b e carotenoides:** Os pigmentos fotossintéticos, clorofilas a e b e clorofila total, foram determinados seguindo o método fornecido por Arnon (1949) e os carotenóides foram mensurados de acordo com método fornecido por Davies (1976).

- **Compostos nitrogenados:** Foram extraídos de acordo com método descrito em Bielecki e Turner (1966), que envolve um processo de centrifugação no qual os compostos nitrogenados ficaram na fase hidrossolúvel. A quantificação dos mesmos foi feita de acordo com metodologia descrita em Cataldo *et al.* (1975), Vogels e Drift (1970) e McCullough (1967), para ureídeos totais, nitrato e amônio, respectivamente.

Para mensuração das clorofilas a e b, carotenoides e compostos nitrogenados, as folhas foram coletadas por ocasião do florescimento pleno, sendo coletados o 3º trifólio completamente expandido do terço médio das plantas, que ocorreu no dia 02/07/2024, coincidente com a coleta para análise do teor de nitrogênio foliar.

- **Componentes da produção:** Na ocasião da coleta de seis plantas para a mensuração dos componentes de produção, em 09 de agosto de 2024, as vagens correspondentes foram removidas e contadas manualmente. O número médio de vagens por planta foi calculado dividindo o número total de vagens pelo número de plantas.

As vagens retiradas foram acondicionadas em sacos de papel e transportadas para uma estufa de renovação e circulação de ar forçado, onde permaneceram por aproximadamente 72 horas. Posteriormente, deram-se continuidade às análises subseqüentes.

As vagens secas foram manualmente debulhadas, e os grãos de cada amostra foram contados utilizando o contador eletrônico de peças ESC2020. Em seguida, foi determinada a umidade desses grãos.

O número de grãos por planta foi calculado dividindo o número total de grãos pelo número de plantas, enquanto o número médio de grãos por vagem foi obtido pela relação entre o número total de grãos e o número de vagens.

Uma pequena amostra de 100 grãos de cada parcela foi separada, onde posteriormente foi pesada em uma balança de precisão, e determinada a massa de 100 grãos.

- **Produtividade de grãos:** As plantas da área útil de cada parcela que foram arrancadas e deixadas para secagem a pleno sol foram submetidas a trilha manual, com auxílio de peneiras dedicadas para tal fim, os grãos foram acondicionados em sacos de papel devidamente identificados e posteriormente pesados em uma balança de precisão e os dados convertidos em kg ha^{-1} (13 % base úmida). Nota-se que para conversão dos dados dentro da umidade indicada,

a fim de padronização dos resultados, se fez necessário primeiramente realizar a mensuração da umidade real dos grãos de cada parcela através de um medidor de umidade.

- **Rendimento de peneira:** Para realização deste parâmetro, utilizou-se as mesmas amostras utilizadas para análise de produtividade, onde os grãos foram classificados em tamanhos pela separação com agitação manual em conjunto de peneiras de crivos oblongos 10/64” (3,98 x 19,05 mm), 11/64” x 3/4 (4,37 x 19,05 mm), 12/64” x 3/4 (4,76 x 19,05 mm), 13/64” x 3/4 (5,16 x 19,05 mm), 14/64” x 3/4 (5,56 x 19,05 mm), 15/64” x 3/4 (5,96 x 19,05 mm).

- **Enzimas de Solo:** Após o cultivo do milho com as plantas de cobertura consorciadas, do feijão-caupí, do arroz de terras altas e do atual projeto com feijão comum, inoculados com os microrganismos benéficos, foram feitas coletas de solo, após a colheita total da área cultivada, em cada uma das parcelas experimentais, na camada de 0,00-0,20 m, para determinação das enzimas de solo β -glucosidase, arilsulfatase e desidrogenase, seguindo as metodologias descritas por Melo *et al.* (2010).

Na análise estatística das variáveis avaliadas os dados obtidos foram submetidos a análise de variância. Para verificar o efeito das coberturas vegetais e da inoculação com microrganismos benéficos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002). As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados os valores obtidos para o teor de nitrogênio foliar nas folhas de feijão comum, conforme o método de Malavolta *et al.* (1997). Observa-se que não houve diferença entre os tratamentos, nem interação entre os fatores estudados. No entanto, os valores obtidos são superiores aos relatados em outras pesquisas, como as de Araújo *et al.* (2024), Rosa *et al.* (2020) e Oliveira, Pelá¹, Pelá² (2017) e estando dentro da faixa considerada adequada por Malavolta *et al.* (2006), o que destaca a eficiência do manejo adotado neste estudo.

Tabela 1 – Valores obtidos da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e nitrogênio foliar, de plantas de feijão-comum. Selvíria (MS), 2024.

Tratamentos	MSPA g pl ⁻¹	N Foliar g kg ⁻¹
Cobertura vegetal		
Milho	8,97 a	40,93
Milho + <i>Urochloa brizantha</i>	8,72 a	40,46
Milho + <i>Urochloa ruziziensis</i>	7,01 b	40,34
Milho + Feijão guandu	7,72 b	43,01
Milho + <i>Crotalaria spectabilis</i>	7,40 b	41,24
Inoculação		
Controle-N	7,15 b	42,32
<i>Azospirillum brasilense</i>	9,14 a	41,07
<i>Rhizobium tropici</i>	7,42 b	41,17
<i>Rhizobium tropici</i> + <i>Azospirillum brasilense</i>	6,62 b	40,76
Controle+N	9,49 a	40,66
F Cob. Vegetal	3,01*	0,98 ^{ns}
F Inoculação	6,80**	0,37 ^{ns}
F Cobertura x Inoculação	1,87*	0,33 ^{ns}
C.V. (%)	23,71	10,25
Média Geral	7,96	41,19

^{ns}, * e ** - Não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. C.V. – coeficiente de variação.

Os resultados apresentados indicam que a escolha de diferentes coberturas vegetais como fornecedor de palhada para o sistema plantio direto, bem como o tipo de inoculação, exerce efeitos significativos na produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de feijão-comum. Houve interação entre os fatores de cobertura vegetal e inoculação, de modo que utilizando o milho solteiro como cobertura vegetal, a inoculação com *A. brasilense* e o controle com aplicação total de nitrogênio em cobertura foram os que mais favoreceram esse parâmetro.

Os maiores valores de MSPA foram obtidos nos tratamentos utilizando milho solteiro e em consórcio com *U. brizantha* como coberturas vegetais, os quais não diferiram entre si. Por outro lado, para esse atributo, o milho consorciado com *U. ruziziensis* apresentou o menor valor entre os tratamentos. O consórcio com feijão guandu e *C. spectabilis* apresentaram resultados intermediários, com valores respectivos de 7,72 e 7,40 g planta⁻¹.

No que diz respeito à inoculação, observa-se que o melhor resultado foi obtido com o uso do fator adicional de adubação nitrogenada recomendada para a cultura (controle +N), sendo superior aos demais tratamentos, exceto no caso da inoculação com *A. brasilense*, que promoveu resultados próximos, não diferindo estatisticamente do tratamento controle com adubação nitrogenada em cobertura. Isso demonstra que o uso da prática de coinoculação com essa bactéria pode ser uma ótima alternativa, pois mesmo com a redução pela metade da adubação nitrogenada, obtiveram-se resultados similares para os teores de massa seca da parte aérea das plantas. A combinação de *R. tropici* + *A. brasilense* foi semelhante ao tratamento controle para esta variável, sendo estes os dois tratamentos com menores médias de MSPA. A inoculação com *R. tropici* apresentou valores intermediários.

No desdobramento entre os fatores apresentado na Tabela 2, observa-se variação na eficácia dos tratamentos. Contudo, de modo geral, a coinoculação com *A. brasilense* (AB) demonstrou-se vantajosa para algumas das combinações (M + M + UB), assim como o controle com aplicação de nitrogênio (controle +N), que também teve um desempenho positivo. Grassi Filho (2010) afirma que o aumento da massa seca no feijoeiro devido à aplicação de nitrogênio em cobertura pode ser atribuído ao fato de que esse elemento desempenha um papel crucial nos processos de multiplicação e diferenciação celular, além de estimular o crescimento das raízes e a formação de gemas de crescimento. De maneira semelhante, Gilabel (2018) comprovou que a adição desse nutriente à cultura do feijão favorece o desenvolvimento e crescimento das plantas, ampliando a área foliar e, conseqüentemente, contribuindo para o aumento da massa seca da parte aérea das plantas, chegando a resultados semelhantes ao do presente estudo.

Tabela 2 – Desdobramento da interação significativa entre os fatores de cobertura vegetal e inoculação para os valores de Massa Seca da Parte Aérea. Selvíria (MS), 2024.

Cobertura vegetal	Inoculação				
	-N	AB	RT	RT+AB	+N
– Massa Seca da Parte Aérea (g pl ⁻¹) –					
M	7,92 b	12,46 Aa	7,26 b	6,80 b	10,42 Aa
M + UB	7,00 b	10,16 Aa	6,53 b	6,84 b	13,05 Aa
M + UR	5,19	8,11 B	7,38	5,78	8,59 B
M + FG	7,75	8,41 B	8,73	6,89	7,14 B
M + CS	7,88	6,56 B	7,50	6,83	8,24 B

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna (coberturas) e minúsculas na linha (inoculação) diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. M – Milho. M + UB – Milho + *Uruchloa brizanta*. M + UR – Milho + *Uruchloa ruziziensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. R + AB – *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

Analisando isoladamente cada combinação, nota-se que, para o milho solteiro, a inoculação com AB resultou no maior valor de MSPA (12,46 g planta⁻¹) quando comparada aos outros tratamentos. Entretanto, o controle +N também apresentou um alto valor de MSPA (10,42 g planta⁻¹), embora inferior ao tratamento com AB. No milho consorciado com *U. brizantha*, a combinação com a adubação nitrogenada total em cobertura obteve a maior média, sendo uma combinação excelente. Esse mesmo tratamento para a cobertura de milho com *U. ruziziensis* mostrou um aumento significativo na MSPA, apesar de estatisticamente inferior ao anterior de M + UB. No entanto, a combinação com AB também se mostrou favorável nesses casos, embora com valores inferiores à cobertura com milho solteiro, sendo esse padrão semelhante no consórcio de milho com feijão guandu. Nesse caso, o tratamento controle com aplicação de nitrogênio foi o mais expressivo numericamente, porém apresentando médias estatisticamente iguais a inoculação com AB, demonstrando a eficiência dessa BPC em aumentar a MSPA do feijoeiro quando combinada com palhada de M + UB.

Os dados apresentados na Tabela 3 referem-se aos resultados obtidos para a análise da população final de plantas, que corresponde à densidade de plantas observada no momento da colheita, bem como aos principais componentes de produção avaliados e à produtividade de grãos das plantas de feijão-comum submetidas aos tratamentos de cobertura vegetal e inoculação investigados neste estudo.

Tabela 3 – Valores da população, número de vagens por planta (NVP), número grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de plantas de feijão-comum. Selvíria (MS), 2024.

Tratamentos	População	NVP	NGP	NGV	M100	Produtividade
	pl ha ⁻¹	vagens/pl	grãos/pl	grãos/vg	g	kg ha ⁻¹
Cobertura vegetal						
M	210.926	14,54 a	64,34 a	4,44	22,37	2.238
M + UB	211.296	12,15 b	55,22 b	4,67	21,93	2.207
M + UR	206.667	12,30 b	56,15 b	4,59	23,35	2.177
M + FG	209.074	15,76 a	73,79 a	4,66	22,24	2.093
M + CS	204.815	13,40 b	61,48 b	4,63	22,72	2.269
Inoculação						
-N	205.740	13,91	59,54	4,31 b	21,99	1.995 b
AB	211.296	13,03	57,91	4,47 b	21,44	2.030 b
RT	215.185	13,86	64,85	4,74 a	23,40	2.372 a
RT + AB	211.296	12,49	60,19	4,86 a	23,21	2.304 a
+N	199.259	14,89	68,49	4,61 a	22,57	2.283 a
F C	0,175 ^{ns}	4,396 ^{**}	5,324 ^{**}	0,479 ^{ns}	0,626 ^{ns}	0,552 ^{ns}
F I	0,865 ^{ns}	1,578 ^{ns}	1,805 ^{ns}	2,595 [*]	1,436 ^{ns}	3,569 [*]
F C x I	0,676 ^{ns}	0,644 ^{ns}	0,815 ^{ns}	0,879 ^{ns}	0,799 ^{ns}	0,374 ^{ns}
C.V. (%)	14,28	24,03	23,36	12,92	13,62	18,53
Média Geral	208.556	13,64	62,19	4,60	22,52	2.197

^{ns}, * e ** - Não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. C.V. – coeficiente de variação. M – Milho. M + UB – Milho + *Urochloa brizantha*. M + UR – Milho + *Urochloa ruziziensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. RT + AB – *Rhizobium tropici*. + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

Observa-se que, para o fator cobertura vegetal, não houve diferenças significativas, conforme indicado pelos testes de análise de variância realizados, nos parâmetros de população final de plantas, número de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos. No entanto, para o parâmetro número de vagens por planta (NVP), o tratamento com cobertura vegetal composta por milho consorciado com feijão-guandu apresentou maior produção, com uma média de 15,76 vagens por planta. Este foi seguido pelo tratamento com milho solteiro (14,54 vagens por planta), o qual, segundo o teste estatístico aplicado, não difere significativamente do tratamento com milho consorciado com feijão-

guandu. O tratamento com milho consorciado com *C. spectabilis* (13,40 vagens por planta), apresentou valores intermediários para esse parâmetro. Por outro lado, os tratamentos envolvendo milho consorciado com gramíneas (*U. brizantha* e *U. ruziziensis*) apresentaram os menores valores para esse parâmetro, indicando menor potencial produtivo em termos de número de vagens por planta.

Adicionalmente, esse padrão foi consistente para o parâmetro número de grãos por planta (NGP). A maior média foi observada no tratamento com milho consorciado com feijão-guandu (73,79 grãos por planta), seguido pelo tratamento com milho solteiro e milho consorciado com *C. spectabilis*, que apresentaram médias de 64,34 e 61,48 grãos por planta, respectivamente. Apesar de a média do tratamento com feijão-guandu ser numericamente superior, ela não diferiu estatisticamente da obtida no tratamento com milho solteiro. No entanto, assim como para o parâmetro NVP, as médias obtidas para milho consorciado com feijão-guandu (M + FG) diferiram estatisticamente das obtidas para milho consorciado com as gramíneas (*U. brizantha* e *U. ruziziensis*) e para o milho consorciado com *C. spectabilis*.

Embora a pesquisa de Bettioli (2015) não tenha identificado diferenças significativas nos componentes de produção do feijoeiro com o uso de palhada de *U. ruziziensis*, tanto em cultivo solteiro quanto em consórcio, foi observado que o consórcio com leguminosas, especialmente com *C. spectabilis*, proporcionou maiores níveis de massa seca e fresca de palhada no sistema plantio direto. Esse resultado contribuiu para uma maior incorporação de nutrientes no solo, o que pode justificar a superioridade desses tratamentos em relação ao parâmetro avaliado nesta pesquisa.

De forma complementar, Herrada, Leandro e Ferreira (2017), destacaram que as coberturas vegetais, sobretudo as leguminosas, tiveram maior influência nos componentes de produção do feijão. Além disso, os autores observaram que o sistema de plantio direto se sobressaiu em relação ao sistema convencional.

Vale ressaltar que, tanto na pesquisa de Bettioli (2015) quanto na de Herrada, Leandro e Ferreira (2017), os valores obtidos para o número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) foram próximos aos encontrados neste estudo. No entanto, em alguns tratamentos, como milho consorciado com feijão-guandu (M + FG), milho consorciado com *Crotalaria spectabilis* (M + CS) e milho solteiro, os valores obtidos nesta pesquisa foram superiores aos relatados por esses autores.

Para o fator inoculação, destacou-se diferenças entre os tratamentos apenas para os parâmetros de número de grãos por vagem e produtividade de grãos, contidos na Tabela 3. O número de grãos por vagem (NGV) nos tratamentos com coinoculação de *R. tropici* + *A.*

brasiliense (RT + AB), *R. tropici* (RT) e controle + N foi estatisticamente igual pelo teste de médias. Por fim, o tratamento controle sem adubação nitrogenada e *A. brasilense* (AB) obtiveram resultados inferiores para esse atributo.

Yadegari (2014) constatou que a simbiose está diretamente relacionada ao melhor desenvolvimento das plantas de feijoeiro e observou incrementos no número de grãos por vagem em plantas cujas sementes foram inoculadas com *R. tropici*, tanto isoladamente quanto em associação com outras bactérias promotoras de crescimento. Por outro lado, Schossler *et al.* (2016) não identificaram diferenças significativas no número de vagens por planta entre os tratamentos de inoculação, coinoculação e a testemunha. Contudo, os valores obtidos em sua pesquisa para este parâmetro foram superiores aos deste estudo. Ainda assim, a produtividade final observada por Schossler *et al.* (2016) foi similar à encontrada na presente pesquisa, sugerindo que outros fatores podem influenciar e compensar, resultando em uma produtividade final equivalente.

No estudo realizado por Steiner, Ferreira e Zuffo (2019), não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos com inoculação exclusiva de *R. tropici* e exclusiva de *A. brasilense*, coinoculação com *A. brasilense* e *R. tropici*, e o tratamento testemunha. No entanto, os valores do número de grãos por vagem encontrados foram muito próximos aos obtidos neste trabalho. Os autores destacaram que a resposta positiva à inoculação ou coinoculação é dependente das condições ambientais e da época de cultivo do feijoeiro, o que pode explicar as divergências entre os resultados de diferentes estudos. Além disso, eles mencionaram que a dose de nitrogênio recomendada para resultados ideais é de aproximadamente 80 kg ha⁻¹, mesma quantidade utilizada no tratamento controle com nitrogênio, evidenciando a resposta favorável desse tratamento para o parâmetro avaliado.

Em relação ao parâmetro de produtividade de grãos, observou-se superioridade no tratamento com inoculação de *R. tropici*, que alcançou uma média de 2.372 kg ha⁻¹. Este foi seguido pelos tratamentos com *R. tropici* + *A. brasilense* (2.304 kg ha⁻¹), controle com adubação nitrogenada (2.283 kg ha⁻¹) e *A. brasilense* isoladamente (2.030 kg ha⁻¹). Estatisticamente, os três primeiros tratamentos avaliados para esse parâmetro não apresentaram diferenças significativas entre si, de acordo com o teste de médias aplicado, indicando comportamento semelhante quanto à variável analisada. Por outro lado, o tratamento controle, que não recebeu adubação nitrogenada em cobertura, e o tratamento inoculado com *A. brasilense* mostraram as menores produtividades de grãos, sendo considerados estatisticamente iguais entre si. Esses resultados sugerem que a ausência de nitrogênio suplementar, mesmo com

a presença da bactéria promotora de crescimento, não foi suficiente para proporcionar ganhos expressivos de produtividade.

De acordo com Bettioli (2019), o feijoeiro apresenta alta responsividade à inoculação e coinoculação com *A. brasilense*, alcançando resultados semelhantes aos observados nesta pesquisa. O autor concluiu que a maior produtividade foi obtida com o uso de *R. tropici*, enquanto produtividades equivalentes foram alcançadas com o uso de *R. tropici* + *A. brasilense*, mesmo na ausência de adubação nitrogenada em cobertura, em comparação com a aplicação recomendada para a cultura.

A associação de bactérias do tipo rizóbio, devido à sua interação mutualística com o sistema radicular das plantas, promove a formação de nódulos que potencializam a fixação biológica de nitrogênio (Cassini; Franco, 2006). Esse processo permite que a cultura do feijoeiro se beneficie da fixação de nitrogênio, alcançando elevadas produtividades mesmo com redução parcial ou total da adubação nitrogenada em cobertura (Hungria; Vargas, 2000).

Carbonell *et al.* (2021), em um estudo de Valor de Cultivo e Uso (VCU) realizado ao longo de três anos em diferentes regiões do estado de São Paulo com a cultivar IAC 2051, reportaram produtividades superiores, iguais e inferiores às observadas nesta pesquisa. No entanto, a média geral de produtividade obtida nesta pesquisa ficou abaixo da média relatada para a cultivar. Diversos fatores podem influenciar a produtividade do feijoeiro, sendo o clima um dos mais determinantes. De acordo com Assad¹ e Assad² (2024), o ano de 2024 foi marcado por irregularidades climáticas significativas, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, devido ao fenômeno La Niña. Esse evento resultou em temperaturas mais elevadas do que a média histórica durante os meses de inverno, configurando um dos anos mais quentes da história e podendo, assim, ter impactado negativamente a produtividade de grãos do feijoeiro.

A produtividade final de grãos está diretamente relacionada à população de plantas. Embora os componentes de produção, como a massa de 100 grãos, tenham sido semelhantes aos observados no trabalho de Luna (2023) em condições similares ao desta pesquisa, a população final de plantas neste estudo foi menor, o que provavelmente resultou em uma produtividade inferior. Com população equivalente, é provável que as produtividades fossem muito próximas.

Não houve interação significativa entre os fatores para os parâmetros de componentes de produção, população e produtividade.

A Tabela 4 apresenta os resultados do teste de rendimento de peneiras, realizado logo após a colheita das parcelas experimentais. Esse teste classifica os grãos com base no tamanho,

uma característica que pode variar de acordo com as condições de manejo às quais o feijoeiro foi exposto, como fertilidade do solo, controle de injúrias e disponibilidade de nutrientes ao longo do ciclo de cultivo.

Tabela 4 – Valores médios para peneiras de crivos oblongos de diferentes tamanhos dado em porcentagem, para a cultivar IAC 2051. Selvíria (MS), 2024.

Tratamentos	10/64”	11/64”	12/64”	13/64”	14/64”	15/64”	Fundo
	%						
Cobertura vegetal							
M	11,06	18,39	22,59	25,71	9,49	1,56	11,20
M + UB	10,54	17,50	22,01	26,73	11,20	2,68	9,26
M + UR	10,79	17,59	22,13	26,70	10,64	2,29	9,86
M + FG	12,87	19,11	21,45	24,10	8,95	1,60	11,91
M + CS	10,29	17,28	22,40	27,05	10,80	2,03	10,15
Inoculação							
-N	12,19	19,63	23,09	24,28	7,24 b	1,17 b	12,41
AB	11,82	18,62	22,54	25,27	9,38 b	1,61 b	10,77
RT	10,21	16,87	21,59	27,42	12,10 a	2,61 a	9,20
RT + AB	11,28	17,61	22,71	26,37	10,22 a	1,73 b	10,08
+N	10,06	17,13	20,74	26,96	12,14 a	3,04 a	9,93
F C	1,34 ^{ns}	0,781 ^{ns}	0,375 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,70 ^{ns}	2,18 ^{ns}	0,66 ^{ns}
F I	1,14 ^{ns}	1,77 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,78 ^{ns}	3,27*	5,76**	0,85 ^{ns}
F C x I	0,31 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,30 ^{ns}
C.V. (%)	35,71	21,43	14,31	24,98	49,69	70,17	56,08
Média Geral	11,11	17,97	22,13	26,06	10,21	2,03	10,47

^{ns}, * e ** - Não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. C.V. – coeficiente de variação. M – Milho. M + UB – Milho + *Urochloa brizantha*. M + UR – Milho + *Urochloa ruziziensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. RT + AB – *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

Observou-se diferença significativa entre as porcentagens de grãos retidos nas peneiras 14 e 15 para os tratamentos avaliados no fator inoculação. Em ambos os casos, o tratamento controle com adubação nitrogenada apresentou as maiores porcentagens de grãos retidos, destacando-se como o mais eficiente na formação de grãos de maior calibre. Resultados verificados para os tratamentos inoculados com *R. tropici* e *R. tropici* + *A. brasilense*, se

agruparam estatisticamente no mesmo nível de produtividade de peneiras, indicando que a inoculação com essas bactérias pode proporcionar benefícios equivalentes à adubação nitrogenada. Na peneira 14, esses três tratamentos formaram o grupo de melhor desempenho, enquanto *A. brasilense* isolado e o controle sem adubação nitrogenada apresentaram as menores médias, refletindo um menor desenvolvimento de grãos. Na peneira 15, o padrão foi semelhante, com destaque para o *R. tropici* e o controle com adubação nitrogenada, que se mantiveram no grupo superior, enquanto os demais tratamentos apresentaram desempenho estatisticamente inferior. O controle sem adubação nitrogenada, por sua vez, apresentou os menores valores em ambas as peneiras, reforçando a importância da adubação nitrogenada e/ou da inoculação eficiente para a obtenção de grãos de maior tamanho e melhor classificação comercial.

Segundo Bettioli (2019), não foram observadas diferenças no rendimento de peneiras com o uso de adubação mineral em cobertura e inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium tropici*, resultados que diferem dos encontrados nesta pesquisa. Já Luna (2023) reportou valores similares aos desta pesquisa para o tratamento controle com adubação nitrogenada na peneira 14, diferindo dos demais tratamentos. Tanto nos estudos citados quanto no presente trabalho, a maior porcentagem de retenção de grãos foi observada nas peneiras 12 e 13.

O sucesso de uma cultivar depende de diversos fatores, incluindo o tamanho do grão, que é uma característica preferida tanto por consumidores finais quanto por empresas empacadoras. Essas empresas frequentemente associam sua marca ao tipo de grão, sendo que, desde 1998, o padrão para feijões do tipo comum é definido pelo tamanho médio retido nas peneiras 12 e 13 (Carbonell *et al.*, 2010). Nesse contexto, os resultados obtidos nesta pesquisa, com maior concentração de grãos nessas peneiras, estão alinhados com os padrões de preferência do mercado atual.

Não houve interação significativa entre os fatores para o teste de rendimento de peneiras.

Na Tabela 5 são apresentados os valores obtidos para os pigmentos fotossintéticos primários, incluindo clorofila A (CLA), clorofila B (CLB) e clorofila total (CLT), além dos carotenoides, que atuam como pigmentos acessórios ou protetores, e os produtos de degradação de pigmentos, representados pelas feofitinas A, B e total (FEA, FEB e FET, respectivamente).

Tabela 5 – Valores obtidos para clorofila A (CLA), clorofila B (CLB), clorofila total (CLT), carotenoides (CAR), feofitina A (FEA), feofitina B (FEB) e feofitina Total (FET) de plantas de feijão-comum. Selvíria (MS), 2024.

Tratamentos	CLA	CLB	CLT	CAR	FEA	FEB	FET
	µg/mL						
Cobertura vegetal							
M	29,80 b	16,58 b	46,38 b	18,28 b	47,38	29,51 b	76,89 c
M + UB	31,87 b	16,84 b	48,81 b	19,49 b	51,32	30,08 b	81,41 b
M + UR	29,59 b	13,86 c	43,45 c	16,87 c	48,65	24,61 b	73,27 c
M + FG	36,56 a	19,34 a	55,90 a	22,94 a	55,53	40,22 a	95,75 a
M + CS	33,21 a	19,84 a	53,05 a	21,66 a	50,60	41,09 a	91,59 a
Inoculação							
-N	32,64	16,11 b	48,75	18,66 b	50,61	29,22	79,83 b
AB	34,28	16,13 b	50,41	18,93 b	51,56	33,40	84,95 b
RT	31,64	19,62 a	51,26	22,37 a	51,56	37,75	89,31 a
RT + AB	30,58	17,22 b	47,80	20,04 b	48,94	34,52	83,46 b
+N	31,89	17,38 b	49,27	19,24 b	50,81	30,63	81,44 b
F C	4,324**	9,979**	13,674**	29,723**	1,796 ^{ns}	9,519**	23,282**
F I	0,999 ^{ns}	3,512**	1,012 ^{ns}	10,993**	0,211 ^{ns}	2,047 ^{ns}	3,342*
F C x I	3,205**	2,893**	5,559**	9,065**	2,267*	2,354*	8,274**
C.V. (%)	16,53	17,07	10,61	8,83	17,79	27,38	9,21
Média Geral	32,21	17,29	49,50	19,85	50,70	33,10	83,80

^{ns}, * e ** - Não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. C.V. – coeficiente de variação. M – Milho. M + UB – Milho + *Urochloa brizantha*. M + UR – Milho + *Urochloa ruziziensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. RT + AB – *Rhizobium tropici*. + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

Para o fator coberturas vegetais, houve efeitos em todos os pigmentos avaliados, com exceção da feofitina A. Os tratamentos compostos por feijão guandu (M + FG) e *C. spectabilis* (M + CS) destacaram-se para todos os parâmetros em que houve diferença significativa entre as médias.

A cobertura de milho consorciado com *U. brizantha* (M + UB) apresentou valores intermediários para os pigmentos fotossintéticos e de proteção, mas superando os valores observados no milho solteiro (M) para FET e no milho consorciado com *U. ruziziensis* (M + UR) para CLB, CLT, CAR e FET. Por outro lado, M + UR registrou os menores valores para

quase todos os parâmetros (CLB, CLT, CAR e FET), indicando menor eficiência desse tratamento no processo fotossintético.

Para o fator inoculação, observaram-se diferenças significativas nos teores de clorofila B (CLB), carotenoides (CAR) e feofitina total (FET). O tratamento com *Rhizobium tropici* (RT) destacou-se com as maiores médias para CLB, CAR e FET. Contudo, os tratamentos com *Azospirillum brasilense* (AB), controle sem nitrogênio (-N), RT + AB e controle com adubação nitrogenada (+N), apresentaram resultados inferiores para CLB, CAR e FET.

De modo geral, observa-se que a inoculação com *R. tropici*, isoladamente, promoveu melhor desempenho fisiológico nas plantas, o que reforça seu potencial no favorecimento da síntese de pigmentos fotossintéticos.

O rendimento de uma cultura resulta da taxa fotossintética acumulada ao longo da estação de crescimento, sendo o potencial de rendimento definido como o máximo crescimento das plantas em condições ideais e saudáveis (Evans e Fischer, 1999). Atualmente, há um grande interesse na manipulação dos processos fotossintéticos como estratégia para aumentar a produtividade das plantas. Entre essas estratégias, destacam-se os esforços para maximizar a captura de luz e melhorar a eficiência no uso dessa energia.

Nesse contexto, os pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas e os carotenoides, desempenham papéis essenciais tanto na absorção de luz quanto na fotoproteção do aparato fotossintético, sendo, portanto, elementos-chave nos esforços para aprimorar a produtividade das culturas (Mirkovic *et al.*, 2017). Assim, pode-se afirmar que a maior concentração desses pigmentos está diretamente associada a um maior potencial produtivo das plantas.

Os carotenoides por sua vez desempenham papel multifuncional nas plantas, atuando não apenas como captadores de luz e transferência de energia, mas também como agentes protetores contra estresses ambientais (Mosquera; Gálvez; Méndez, 2005). Entre essas funções, podemos citar a proteção contra estresses de luz e danos oxidativos, com utilização do beta-caroteno e a zeaxantina, que ajudam na dissipação de energia em excesso, além de função antioxidante (Havaux; Dall'Osto; Bassi, 2007), assim como também na estabilização de membranas lipídicas as protegendo contra espécies reativas de oxigênio (Gruszecki; Strazalka, 2005). Também são associados a síntese precursores de metabólicos importantes, como ácido abscísico e estrigolactonas, que assim como dito anteriormente, ajudam as plantas no seu desenvolvimento e respostas a estresses (Simkin, 2021).

A Tabela 6 apresenta o desdobramento da interação significativa entre os fatores cobertura vegetal e inoculação para os pigmentos fotossintéticos primários e os carotenoides.

Tabela 6 – Desdobramento da interação significativa entre cobertura vegetal e inoculação para os teores de clorofila A, clorofila B, clorofila total e carotenoides presentes nas folhas de feijão comum. Selvíria (MS), 2024.

Cobertura vegetal	Inoculação				
	-N	AB	RT	RT + AB	+N
– Clorofila A (µg/mL) –					
M	27,28 Bb	40,45 Aa	27,01 Bb	26,13 b	28,15 Bb
M + UB	31,17 B	38,52 A	26,68 B	31,15	31,82 B
M + UR	26,54 B	31,10 B	30,32 B	31,67	28,32 B
M + FG	32,42 Bb	33,35 Bb	42,59 Aa	34,20 b	40,23 Aa
M + CS	45,79 Aa	27,98 Bb	31,61 Bb	29,74 b	30,93 Bb
– Clorofila B (µg/mL) –					
M	13,59 B	17,85	16,24 B	15,10 B	20,10 A
M + UB	16,86 A	15,10	17,69 B	17,52 B	17,03 A
M + UR	13,11 B	14,56	15,43 B	14,01 B	12,18 B
M + FG	18,24 Ab	15,25 b	28,43 Aa	15,52 Bb	19,27 Ab
M + CS	18,76 A	17,86	20,30 B	23,94 A	18,33 A
– Clorofila Total (µg/mL) –					
M	40,87 Cb	58,30 Aa	43,25 Bb	41,23 b	48,25 Bb
M + UB	48,04 B	53,63 A	44,38 B	48,67	48,85 B
M + UR	39,66 C	45,66 B	45,75 B	45,68	40,50 B
M + FG	50,66 Bc	48,60 Bc	71,02 Aa	49,72 bc	59,50 Ab
M + CS	64,55 Aa	45,85 Bb	51,91 Bb	53,68 b	49,27 Bb
– Carotenoides (µg/mL) –					
M	16,41 Cb	20,13 ab	17,71 Cb	17,13 Cb	20,00 Aa
M + UB	18,51 C	19,53	19,98 C	20,55 B	18,88 A
M + UR	14,99 C	16,70	18,82 C	17,80 C	15,92 B
M + FG	19,82 Bb	19,75 b	33,35 Aa	19,71 Bb	22,09 Ab
M + CS	23,57 Aa	18,44 b	21,98 Ba	25,01 Aa	19,30 Ab

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna (coberturas) e minúsculas na linha (inoculação) diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. M – Milho. M + UB – Milho + *Uruchloa brizanta*. M + UR – Milho + *Uruchloa ruzizensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. R + AB – *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

Para a clorofila A, as melhores combinações foram observadas no tratamento com milho consorciado com *C. spectabilis* associado ao controle sem adubação nitrogenada em cobertura

(-N), no milho consorciado com feijão guandu inoculado com *R. tropici* e controle +N e no milho solteiro com coinoculação de *A. brasilense* (RT + AB). Em contrapartida, as combinações envolvendo milho consorciado com *U. brizantha* (UB) ou *U. ruziziensis* (UR) resultaram nos menores valores de clorofila A.

Para a clorofila B, a melhor interação ocorreu entre milho consorciado com feijão guandu e inoculação com *R. tropici*. A coinoculação RT + AB mostrou-se mais promissora no consórcio de milho com *C. spectabilis*. e no milho solteiro com adubação nitrogenada em cobertura (+N).

Na soma das clorofilas A e B, isto é, na clorofila total, a combinação de milho consorciado com feijão guandu inoculado com *R. tropici* destacou-se como a mais eficiente, apresentando os maiores teores entre todos os tratamentos. Em seguida, observaram-se valores elevados no milho consorciado com *C. spectabilis* sob o controle sem adubação nitrogenada (-N) e no milho solteiro co-inoculado com *A. brasilense*, que também integraram o grupo de melhores resultados. Para os carotenoides, o padrão manteve-se semelhante, com destaque novamente para as combinações de milho consorciado com feijão guandu e *R. tropici* e milho consorciado com *C. spectabilis* no controle -N, que apresentaram os maiores teores desse pigmento. Além dessas, outras associações também mostraram desempenho satisfatório, como o milho consorciado com *C. spectabilis* co-inoculado com RT + AB e o milho solteiro sob adubação nitrogenada em cobertura (+N), evidenciando o potencial dessas combinações para favorecer a síntese de pigmentos fotossintéticos.

O teor de clorofila nas folhas vegetais tem relação direta com o teor de nitrogênio na planta, pois o N é componente das moléculas de clorofila. Além disso, o teor de clorofila nas folhas não é influenciado pelo consumo de luxo de N (Rambo *et al.*, 2004; Schadchina; Dmitrieva, 1995; Blackmer; Schepers, 1995). Dessa forma, o aumento no teor de clorofila notado nos tratamentos anteriormente citados indica bom aproveitamento do nitrogênio absorvido, com mais clorofila nas folhas, o que conseqüentemente pode aumentar o potencial fotossintético das plantas e resultar em maior crescimento e produtividade (Smeal; Zhang, 1994; Piekielek; Fox, 1992).

Além disso, o aumento no teor de carotenoides observado nos mesmos tratamentos (M + CS e controle sem N; milho solteiro e *A. brasilense*; M + FG com *R. tropici*; M + CS com R + A; e M + FG e o controle com N) indica que esses tratamentos resultaram em maior proteção contra estresses oxidativos ao fotossistema. Conforme relatado em estudos anteriores, as inoculações podem aumentar os mecanismos fisiológicos de proteção contra estresses nas plantas (Reina-Bueno *et al.*, 2012; Wdowiak-Wrobel *et al.*, 2013; Lunn *et al.*, 2014; Yurgel *et*

al., 2013; Thrall *et al.*, 2008; Franzini *et al.*, 2013). Neste trabalho, fica claro que as inoculações e as coberturas vegetais têm efeitos sinérgicos sobre essa proteção contra estresses oxidativos.

A Tabela 7 apresenta o desdobramento da interação significativa entre os fatores cobertura vegetal e inoculação para os valores de feofitina A, B e total.

Tabela 7 – Desdobramento da interação significativa entre cobertura vegetal e inoculação para os teores de feofitina A, feofitina B e feofitina total e carotenoides presentes nas folhas de feijão comum. Selvíria (MS), 2024.

Cobertura vegetal	Inoculação				
	-N	AB	RT	RT + AB	+N
– Feofitina A (µg/mL) –					
M	42,92 B	55,80	48,34	42,86	46,96
M + UB	48,44 B	60,51	46,02	51,52	50,05
M + UR	42,51 B	48,59	53,59	53,69	44,88
M + FG	49,36 B	51,23	63,10	51,96	62,01
M + CS	69,84 Aa	41,65 b	46,73 b	44,61 b	50,16 b
– Feofitina B (µg/mL) –					
M	22,73 B	39,00	28,47 C	28,97 B	28,38
M + UB	22,52 B	30,43	30,08 C	35,75 B	31,65
M + UR	24,78 B	26,47	20,02 C	26,38 B	25,41
M + FG	35,80 Ab	30,45 b	64,90 Aa	32,36 Bb	37,59 b
M + CS	40,28 A	40,64	45,27 B	49,15 A	30,12
– Feofitina Total (µg/mL) –					
M	65,64 Cb	94,81 Aa	76,81 Cb	71,83 Bb	75,34 Bb
M + UB	70,96 Cb	90,94 Aa	76,10 Cb	87,33 Aa	81,70 Ba
M + UR	67,29 C	75,06 B	73,62 C	80,07 B	70,29 B
M + FG	85,16 Bc	81,68 Bc	128,00 Aa	84,32 Ac	99,60 Ab
M + CS	110,11 Aa	82,29 Bc	92,00 Bb	93,76 Ab	80,28 Bc

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna (coberturas) e minúsculas na linha (inoculação) diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. M – Milho. M + UB – Milho + *Uruchloa brizanta*. M + UR – Milho + *Uruchloa ruziziensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. R + AB – *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

Observa-se que as interações entre os fatores foram menos pronunciadas em comparação aos pigmentos fotossintéticos, mas ainda seguem um padrão semelhante. As melhores concentrações foram obtidas na combinação de milho consorciado com feijão guandu

(M + FG) e inoculação com *R. tropici* (RT), especialmente para feofitina B e feofitina total. Além disso, o tratamento de milho consorciado com *C. spectabilis* (M + CS) associado ao controle sem adubação nitrogenada (-N) destacou-se para os teores de feofitina A e total.

As feofitinas são produtos derivados da degradação das clorofilas, formados pela remoção do íon magnésio (Mg^{2+}) do núcleo da porfírina e sua substituição por hidrogênio, em um processo conhecido como feofitinação, onde altos níveis desses compostos são frequentemente associados a estresses ambientais, senescência ou degradação do aparato fotossintético, indicando alterações fisiológicas adversas nas plantas (Heaton; Marangoni, 1996; Streit *et al.*, 2005). Assim, a observação de valores de feofitinas superiores aos das clorofilas sugere degradação significativa, possivelmente causada por fatores internos ou externos que comprometem a saúde das plantas.

Klimov (1986), descreve que no processo fotossintético, as feofitinas desempenham um papel essencial como acceptor primário de elétrons no centro de reação do Fotossistema II (PSII). Após a excitação da clorofila *a* especial (P680) pela luz, ocorre a transferência ultrarrápida de um elétron para a feofitina, que atua como o primeiro carreado eletrônico estável da cadeia fotoquímica, iniciando a separação de cargas necessária para a continuidade do transporte eletrônico. Essa etapa é fundamental para a redução subsequente da plastoquinona e para o fluxo de elétrons que possibilita a fotólise da água e a geração de ATP e NADPH. Estudos clássicos demonstram que, na ausência da feofitina, o transporte de elétrons no PSII não se estabelece, evidenciando sua importância como intermediário obrigatório no mecanismo fotoquímico.

Trabalhos posteriores reforçam essa função, destacando que a feofitina apresenta propriedades redox e localização estrutural ideais para atuar como o primeiro acceptor de elétrons após a oxidação de P680, assegurando a eficiência da conversão inicial de energia luminosa em energia química (Barber, 2003).

Tratamentos biológicos, como inoculação e coinoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* (RT + AB), mostraram-se eficazes ao apresentar maiores níveis de clorofilas e menores diferenças em relação às feofitinas, evidenciando menor degradação, maior eficiência fotossintética e melhor capacidade de adaptação das plantas às condições ambientais adversas.

A Tabela 8 apresenta os valores dos parâmetros bioquímicos relacionados ao metabolismo do nitrogênio em plantas de feijão-comum: proteínas (PRO), ureídeos (URE), ácido alantoico (ALA), amônio (AMO) e nitrato (NIT).

Tabela 8 – Valores obtidos para Proteínas (PRO), Ureídeos (URE), Ácido Alantoico (ALA), Amônio (AMO) e Nitrato (NIT) de plantas de feijão-comum. Selvíria (MS), 2024.

Tratamentos	PRO	URE	ALA	AMO	NIT
	mg gr ⁻¹				
Cobertura vegetal					
M	398,99 b	148,49 c	119,97 b	24,15 c	42,10 a
M + UB	407,04 b	150,15 c	127,07 b	39,29 a	42,57 a
M + UR	405,90 b	160,69 b	126,28 b	22,47 c	36,16 b
M + FG	417,38 a	183,23 a	134,97 a	33,04 b	36,72 b
M + CS	419,38 a	132,28 d	106,05 c	27,37 c	36,26 b
Inoculação					
-N	398,00 b	143,00 c	113,95 c	27,13 b	41,79
AB	395,90 b	156,12 b	119,72 c	34,84 a	41,12
RT	426,46 a	163,75 b	145,79 a	29,76 a	34,30
RT + AB	424,33 a	182,49 a	131,57 b	32,42 a	37,70
+N	403,99 b	129,49 d	103,62 d	22,14 b	38,90
F C	4,735**	34,990**	17,266**	11,487**	3,270*
F I	14,011**	40,359**	38,722**	5,794**	2,734 ^{ns}
F C X I	3,166**	30,788**	34,067**	3,232**	1,355 ^{ns}
C.V. (%)	3,69	7,94	8,20	26,96	18,07
Média Geral	409,74	154,97	122,87	29,26	38,76

^{ns}, * e ** - Não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. C.V. – coeficiente de variação. M – Milho. M + UB – Milho + *Urochloa brizantha*. M + UR – Milho + *Urochloa ruziziensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. RT + AB – *Rhizobium tropici*. + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

Para o fator coberturas vegetais, o tratamento de milho consorciado com feijão guandu (M + FG) mostrou-se promissor na maioria dos parâmetros analisados. No entanto, para a concentração de proteínas, o tratamento M + CS apresentou a maior média numérica, embora estatisticamente semelhante ao M + FG. Os tratamentos com gramíneas apresentaram valores intermediários, sem diferença significativa entre si, e, pelo teste de médias, também foram similares aos tratamentos mais eficazes. O menor valor para proteínas foi registrado no milho solteiro (M). Para os ureídeos, o tratamento M + FG destacou-se com a maior média, diferindo estatisticamente de todos os outros tratamentos. Esse mesmo padrão foi observado para os teores de ácido alantoico, com M + FG novamente mostrando superioridade. Em ambos os

casos, os tratamentos com gramíneas apresentaram valores intermediários, enquanto M + CS teve a menor média.

Para as concentrações de amônio (AMO), o tratamento milho consorciado com *U. brizantha* (M + UB) apresentou a maior média, destacando-se significativamente em relação aos demais. Em seguida, o milho consorciado com feijão guandu (M + FG) apresentou valores ligeiramente inferiores, mas ainda elevados e superiores aos demais tratamentos. As combinações milho consorciado com *C. spectabilis* (M + CS) e milho solteiro (M) mostraram valores intermediários, enquanto o milho consorciado com *U. ruziziensis* (M + UR) apresentou a menor concentração de amônio, compondo o grupo de menor desempenho. Para o nitrato (NIT), as diferenças entre as coberturas também foram significativas. O milho solteiro (M) e o milho consorciado com *U. brizantha* (M + UB) apresentaram as maiores concentrações, formando o grupo superior. Já as demais coberturas — M + UR, M + FG e M + CS — exibiram valores menores e estatisticamente semelhantes entre si.

Na revisão de Chen *et al.* (2014), foi comprovado que os resíduos vegetais incorporados ao solo podem modificar o nitrogênio inorgânico por meio de processos biológicos essenciais, como mineralização e imobilização, ambos influenciados pela relação C/N. Essa relação é um índice crucial para prever alterações no nitrogênio presente no solo, sendo a sincronização dessas mudanças fundamental para otimizar a dinâmica do nitrogênio em sistemas agrícolas. Calvo, Foloni e Brancalhão (2010) destacam que consórcios com gramíneas geram palhadas com maior relação C/N, retardando a decomposição e a liberação de nitrogênio em comparação com consórcios com leguminosas, o que pode ter favorecido a maior disponibilidade dos compostos do metabolismo do nitrogênio observada em maior parte no consórcio M + FG nesta pesquisa. Moreira e Siqueira (2002) acrescentam que uma redução na relação C/N satisfaz a demanda de nitrogênio pelos microrganismos do solo, promovendo a liberação mais rápida desse nutriente e beneficiando o suprimento para as culturas subsequentes.

No fator inoculação, observaram-se respostas específicas e consistentes, com destaque para a coinoculação RT + AB. Para a concentração de proteínas, os tratamentos inoculados com RT e com a coinoculação (RT + AB) apresentaram as maiores médias, estatisticamente iguais entre si, mas superiores aos demais tratamentos. Para os teores de ureídeos, a coinoculação RT + AB foi a mais eficiente, com média significativamente superior a todos os outros tratamentos. Valores intermediários foram observados com RT e AB isolados, enquanto os tratamentos controle (-N e +N) apresentaram as menores médias.

Nos teores de ácido alantoico, o tratamento com RT destacou-se como o mais promissor, seguido pela coinoculação RT + AB. Assim como nos ureídeos, os tratamentos controle com e

sem N apresentaram as menores médias, sendo o controle com adubação nitrogenada (+N) o menos eficiente. Para as concentrações de amônio, a coinoculação RT + AB manteve sua superioridade, mas o tratamento com AB e RT isolado também apresentaram alta média, estatisticamente igual ao RT + AB. Os demais tratamentos tiveram valores intermediários. Para os teores de nitrato, o maior valor foi registrado no controle sem adubação nitrogenada (-N), sendo ligeiramente superior ao tratamento com AB, porém sem diferença estatística entre os tratamentos.

Os ureídeos são produtos diretos da fixação biológica de nitrogênio (FBN) e são transportados ativamente pelas plantas leguminosas, principalmente na forma de alantoína e ácido alantoico, sendo esses compostos predominantes em plantas com nódulos determinados. Eles podem ser utilizados como indicadores confiáveis da eficiência da atividade nodular nessas plantas (Amarante; Lima; Sodek, 2006; Sprent, 2009). Essas evidências reforçam a superioridade dos tratamentos biológicos com inoculação (*R. tropici*) e coinoculação (*R. tropici* e *A. brasilense*) observada para os compostos relacionados ao metabolismo do nitrogênio nas plantas de feijoeiro.

Por outro lado, estudos indicam que a presença de nitrogênio mineral, como o nitrato, pode reduzir o transporte de ureídeos devido à inibição da atividade nodular e da fixação de nitrogênio. Essa inibição é frequentemente associada à supressão da simbiose leguminosa-rizóbio, à medida que o nitrato se torna a principal fonte de nitrogênio para a planta (Sodek; Silva, 1996). Isso pode explicar a menor eficiência observada no tratamento controle com adubação nitrogenada em cobertura, que apresentou médias relativamente baixas de compostos nitrogenados em comparação aos demais tratamentos, e, em alguns casos, até inferiores ao tratamento controle sem adubação nitrogenada.

A Tabela 9 apresenta o desdobramento da interação significativa entre os fatores cobertura vegetal e inoculação para os parâmetros relacionados ao metabolismo do nitrogênio em plantas de feijão-comum.

Tabela 9 – Desdobramento da interação significativa entre cobertura vegetal e inoculação para os teores de proteínas, ureídeos, ácido alantoico e nitrato presentes nas folhas de feijão comum. Selvíria (MS), 2024.

Cobertura vegetal	Inoculação				
	-N	AB	RT	RT + AB	+N
– Proteínas (mg/gr) –					
M	381,60 Bb	414,20 a	420,15 a	402,89 Ba	376,09 Bb
M + UB	386,63 Bb	382,80 b	423,34 a	448,44 Aa	393,99 Bb
M + UR	398,65 B	392,96	425,60	411,04 B	401,24 B
M + FG	401,49 Bb	397,44 b	444,57 a	432,61 Aa	410,80 Bb
M + CS	421,61 Aa	392,10 b	418,63 a	426,72 Aa	437,83 Aa
– Ureídeos (mg/gr) –					
M	151,59 Bb	193,36 Aa	182,06 Aa	127,00 Dc	88,45 Cd
M + UB	86,74 Cc	136,86 Bb	175,39 Aa	164,64 Ca	187,14 Aa
M + UR	178,34 Ab	125,13 Bc	175,35 Ab	201,89 Ba	122,74 Bc
M + FG	145,28 Bc	185,34 Ab	190,95 Ab	268,90 Aa	125,70 Bc
M + CS	153,07 Ba	139,90 Ba	94,99 Bc	150,02 Ca	123,40 Bb
– Ácido Alantoico (mg/gr) –					
M	117,59 Bb	162,45 Aa	116,01 Cb	131,41 Bb	72,42 Cc
M + UB	106,71 Bb	93,71 Bb	168,14 Ba	97,73 Cb	169,07 Aa
M + UR	150,58 Ab	93,37 Bd	133,73 Cc	174,17 Aa	79,58 Cd
M + FG	89,53 Ce	161,15 Ab	186,53 Aa	130,58 Bc	107,05 Bd
M + CS	105,34 Bb	87,94 Bb	123,03 Ca	123,96 Ba	89,98 Cb
– Amônio (mg/gr) –					
M	23,92 Bb	37,97 Aa	15,92 Cb	28,02 Ba	14,95 Bb
M + UB	42,40 Aa	45,70 Aa	29,73 Bb	45,95 Aa	32,65 Ab
M + UR	17,56 B	26,21 B	27,12 B	24,38 B	17,06 B
M + FG	25,37 Bb	45,94 Aa	44,01 Aa	22,27 Bb	27,62 Ab
M + CS	26,39 Bb	18,36 Bb	32,01 Ba	41,51 Aa	18,58 Bb

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna (coberturas) e minúsculas na linha (inoculação) diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. M – Milho. M + UB – Milho + *Uruchloa brizanta*. M + UR – Milho + *Uruchloa ruziziensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. R + AB – *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

De forma geral, as combinações envolvendo milho consorciado com feijão guandu e milho consorciado com *U. brizantha*, quando associadas ao *R. tropici* ou à coinoculação de *R.*

tropici e *A. brasilense*, destacaram-se com os maiores valores para a maioria dos parâmetros analisados. Esses tratamentos foram eficazes em promover o acúmulo de proteínas, ureídeos e ácido alantoico, indicando sua contribuição para a otimização do metabolismo do nitrogênio.

Os sistemas que utilizaram milho consorciado com *C. spectabilis* também apresentaram bons resultados para proteínas, mas mostraram menor eficiência para ureídeos e ácido alantoico em algumas combinações. Por outro lado, os tratamentos com milho solteiro e milho consorciado com *U. ruziziensis* registraram os menores valores para a maioria dos parâmetros, particularmente quando associados ao controle sem inoculação ou com adubação nitrogenada em cobertura. De forma semelhante, as combinações que incluíram a coinoculação com RT + AB demonstraram ser uma estratégia eficaz para aumentar os teores de amônio, enquanto os tratamentos sem inoculação ou com controle adubado apresentaram resultados inferiores.

Na Tabela 10 estão apresentados os valores obtidos da análise da atividade enzimática do solo.

Tabela 10 – Valores para análise da atividade enzimática do solo das enzimas Arilsulfatase, β -Glicosidase e Desidrogenase. Selvíria (MS), 2024.

Tratamentos	Arilsulfatase	β -Glicosidase	Desidrogenase
	$\mu\text{g pNF g}^{-1} \text{ Solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\mu\text{g pNF g}^{-1} \text{ Solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\mu\text{g TFF g}^{-1} \text{ SS 24h}$
Cobertura vegetal			
M	45,52	62,12	58,28 a
M + UB	50,71	72,33	45,75 a
M + UR	46,26	58,86	30,51 b
M + FG	56,66	63,87	43,56 a
M + CS	46,07	69,60	36,43 b
Inoculação			
Testemunha	51,83 a	65,76 b	45,02 a
AB	50,37 a	70,86 a	30,38 b
RT	44,83 b	68,05 a	48,10 a
RT + AB	41,14 b	56,74 b	48,12 a
F C	0,506 ^{ns}	2,294 ^{ns}	4,804 ^{**}
F I	3,565 [*]	3,524 [*]	3,913 [*]
F C x I	3,094 ^{**}	1,835 ^{ns}	0,851 ^{ns}
C.V. (%)	21,61	19,29	38,67

Média Geral	47,04	65,35	42,91
-------------	-------	-------	-------

^{ns}, * e ** - Não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. C.V. – coeficiente de variação. M – Milho. M + UB – Milho + *Urochloa brizantha*. M + UR – Milho + *Urochloa ruziziensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. RT + AB – *Rhizobium tropici*. + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

Para os tratamentos com plantas de cobertura, houve diferença significativa apenas para a atividade da desidrogenase. As maiores atividades foram registradas no milho solteiro (58,28 $\mu\text{g TPF g}^{-1}$ SS 24h), milho consorciado com *U. brizantha* (45,75 $\mu\text{g TPF g}^{-1}$ SS 24h) e milho consorciado com feijão guandu (43,56 $\mu\text{g TPF g}^{-1}$ SS 24h).

O trabalho de Borges (2010) concluiu que a incorporação de resíduos culturais favorece a atividade enzimática do solo, quando comparada a solos sem adição de palhada. Esse efeito ocorre porque, durante a mineralização da matéria orgânica do solo, com a liberação gradual dos nutrientes para as plantas, existe um aumento na atividade microbiana do solo, levando ao aumento da atividade da desidrogenase. Dentre o uso de palhadas estudadas pelo autor, o uso de resíduos de milho e feijão guandu apresentaram médias de atividade da desidrogenase semelhantes às deste estudo.

A desidrogenase é uma enzima presente no interior dos microrganismos, sendo assim, sua presença está diretamente associada à atividade microbiana nos solos (Wolińska *et al.*, 2015). Solos com maior teor de matéria orgânica, portanto, apresentam maior atividade dessa enzima, devido à intensificação da atividade microbiana (Fonseca, 2021).

Nos tratamentos que incluíram inoculação e coinoculação, foram observadas diferenças estatisticamente significativas nas médias das três enzimas avaliadas. Para a arilsulfatase, o tratamento testemunha e o inoculado com *A. brasilense* (AB) apresentaram os maiores resultados, enquanto os tratamentos RT + AB e RT obtiveram médias inferiores.

Em relação a β -glicosidase, os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos com *A. brasilense* (AB) e *R. tropici* (RT), enquanto a testemunha e RT + AB apresentaram médias inferiores.

A atividade da desidrogenase foi maior em todos os tratamentos, exceto o AB.

A maior atividade de enzimas no tratamento testemunha pode ser explicada pelo manejo inicial do solo, onde parte da área destinada à testemunha recebeu adubação nitrogenada total em cobertura. Segundo Assis *et al.* (2003), há uma competição natural entre microrganismos do solo e as raízes das plantas pelos nutrientes, especialmente o nitrogênio. Durante a decomposição dos resíduos vegetais, os microrganismos utilizam esses nutrientes,

imobilizando-os temporariamente. Nesse contexto, a aplicação de nitrogênio pode aumentar a biomassa microbiana e, conseqüentemente, a atividade das enzimas.

O aumento da atividade da beta-glicosidase com a inoculação de *A. brasilense* é esperado. A literatura demonstra que a inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas tem potencial para aumentar a atividade dessa enzima no solo, pois aumenta a biomassa microbiana e a ciclagem de nutrientes (Duan *et al.*, 2022). A maior parte dos relatos descrevem aumento dessa enzima após inoculação de outras bactérias, como *Paenibacillus mucilaginosus* e *Sinorhizobium meliloti* em alfafa (Ju *et al.*, 2019) ou *Pseudomonas aeruginosa* em girassol (Arif *et al.*, 2016). Além disso, Alen'kina *et al.* (2001) demonstraram produção de beta-glicosidase por outra espécie do mesmo gênero, *Azospirillum lipoferum*.

O aumento da desidrogenase após a inoculação de *R. tropici* e da coinoculação de *R. tropici* com *A. brasilense* é também relatado por Tolosa (2021). Isso porque esta enzima expressa a atividade microbiana do solo. A comunidade microbiana é influenciada pelo aumento na população de rizóbios e pela maior nodulação causada pela inoculação (Hungria *et al.*, 2003; Vargas *et al.*, 2000). Além disso, a inoculação e a coinoculação modulam a comunidade microbiana rizosférica (Zhong *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2023), o que pode levar a alterações na atividade enzimática.

De modo geral, as coberturas vegetais oriundas de gramíneas resultaram em maior atividade da arilsulfatase, assim como observado por Simon *et al.* (2017). Segundo Chaves *et al.* (2024), o aumento na atividade desta enzima após braquiária ou milho em seu trabalho decorreu da maior produção e manutenção da palhada sobre o solo.

De acordo com a classificação de Lopes *et al.* (2013), os valores obtidos para arilsulfatase e β -glicosidase no estudo são considerados moderados. As médias apresentaram-se acima de $36 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ Solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para arilsulfatase e acima de $61 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ Solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para β -glicosidase. Esses resultados destacam o potencial de fertilidade biológica do solo sob os manejos avaliados, refletindo o impacto positivo das práticas de adubação e inoculação nos parâmetros bioquímicos.

Entretanto, na pesquisa de Mendes *et al.* (2018), foi possível avaliar a saúde do solo por meio da interpretação dos resultados obtidos para arilsulfatase e β -glicosidase. Utilizando a tabela com classes de interpretação para amostras coletadas após a colheita, observa-se que a arilsulfatase apresenta valores considerados moderados, variando entre $31\text{-}70 \mu\text{g pNF g}^{-1} \text{ solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$, alinhados com os dados aqui reportados. De forma similar, para a β -glicosidase, a maioria

dos valores obtidos nesta pesquisa também se enquadra na classificação moderada, que corresponde ao intervalo de 67-115 $\mu\text{g pNF g}^{-1} \text{ solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

A desidrogenase, dentre todas as enzimas presentes no solo, é amplamente utilizada na pesquisa devido à sua capacidade de refletir a atividade oxidativa total da microbiota do solo (Dick; Tabatai, 1993). A atividade dessa enzima pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, como condições climáticas, umidade do solo, disponibilidade de nutrientes, matéria orgânica, contaminação, utilização de adubos ou defensivos e outros aspectos. Essa sensibilidade aos diferentes manejos do solo faz com que sua presença possa indicar mudanças na qualidade do solo, permitindo seu uso como indicador da população microbiana viável (Wolinska; Stepniewska, 2012; Moreira, Siqueira, 2006). Com base nisso, conclui-se que a maior quantidade da população microbiana foi encontrada nos solos que receberam bactérias promotoras de crescimento, tanto na inoculação de RT quanto na co-inoculação de RT + AB, as quais não apresentaram diferenças estatísticas na média da atividade dessa enzima.

Para avaliar o efeito dos tratamentos, foram realizadas coletas de amostras de solo no início e no final da pesquisa, permitindo a comparação entre os dois momentos. As médias iniciais observadas foram: 43,39 e 55,2 $\mu\text{g pNF g}^{-1} \text{ solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para arilsulfatase e β -glicosidase, respectivamente, e 21,96 $\mu\text{g TFF g}^{-1} \text{ SS 24h}$ para desidrogenase. Ao comparar esses dados com as médias gerais do experimento, nota-se aumento na atividade enzimática de forma geral após os quatro cultivos deste experimento. Para a enzima arilsulfatase, esse incremento foi de 8,4%, enquanto para β -glicosidase foi de 18,4% e para desidrogenase, de 95,9%.

A Tabela 11 apresenta os valores do desdobramento entre os fatores de inoculação e coberturas vegetais, com interação significativa para a atividade da enzima arilsulfatase. A maior atividade foi registrada na cobertura de milho consorciado com *Urochloa brizantha* (M + UB), especialmente no tratamento testemunha, que se destacou como a melhor combinação. Isso sugere que a palhada dessa gramínea pode estimular maior atividade microbiana no solo, possivelmente devido à adubação nitrogenada inicial aplicada em parte do tratamento testemunha.

Tabela 11 – Desdobramento da interação significativa entre os fatores de cobertura vegetal e inoculação para os valores de atividade enzimática da Arilsulfatase. Selvíria (MS), 2024.

Cobertura vegetal	Inoculação			
	Testemunha	AB	RT	RT+AB
– Arilsulfatase ($\mu\text{g pNF g}^{-1} \text{Solo}^{-1} \text{h}^{-1}$) –				
M	54,33 AB	54,33	39,86	33,54
M + UB	68,09 Aa	60,24 ab	35,81 c	38,68 bc
M + UR	55,82 AB	50,30	38,34	40,57
M + FG	39,71 B	39,22	54,97	52,75
M + CS	41,20 B	47,75	55,18	40,16

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna (coberturas) e minúsculas na linha (inoculação) diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M – Milho. M + UB – Milho + *Urochloa brizanta*. M + UR – Milho + *Urochloa ruziziensis*. M + FG – Milho + Feijão Guandu. M + CS – Milho + *Crotalaria spectabilis*. -N – Controle sem aplicação de nitrogênio. AB – *Azospirillum brasilense*. RT – *Rhizobium tropici*. R + AB – *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*. +N – Controle com aplicação de nitrogênio.

O milho solteiro (M) e consorciado com *Urochloa ruziziensis* (M + UR) também apresentaram bons resultados no tratamento testemunha, não diferindo estatisticamente da interação com M + UB.

6 CONCLUSÕES

As coberturas vegetais formadas pelo consórcio de milho com feijão-guandu e crotalária se destacaram por promover maior eficiência fotossintética, com aumento nos teores de clorofilas e carotenoides, além de resultados superiores nos componentes de produção, como o maior número de vagens e grãos por planta;

O consórcio de milho com *U. brizantha* e feijão guandu resultaram em maior atividade de desidrogenase no solo. Já *A. brasilense* e *R. tropici* se mostraram eficientes para β -Glicosidase, enquanto somente *A. brasilense* obteve média satisfatória para arilsulfatase.

A inoculação de *R. tropici* de maneira isolada e em conjunto com *A. brasilense* possibilitaram eficiência do uso do nitrogênio, com maiores concentrações de ureídeos, ácido alantoico e amônio.

A massa seca do feijoeiro foi maior no tratamento milho solteiro associado a inoculação com *A. brasilense* em comparação ao controle com adubação nitrogenada na dose recomendada.

A produtividade de grãos foi superior nos tratamentos com *R. tropici*, *R. tropici* + *A. brasilense* e controle + N

No rendimento de peneira, *R. tropici* e *R. tropici* + *A. brasilense* obtiveram médias estatisticamente iguais ao controle +N, mostrando que BPC se mostram igualmente capazes de produzir grãos de maior calibre.

Embora a adubação nitrogenada tenha apresentado bons resultados, a eficiência dos tratamentos biológicos evidencia seu potencial para reduzir custos e impactos ambientais, demonstrando ser possível diminuir a aplicação de nitrogênio sem comprometer o desempenho agrônômico. Assim, o manejo adequado do sistema de cultivo no Cerrado, aliado ao uso de tecnologias biológicas, torna-se fundamental para promover a segurança alimentar e a conservação dos recursos naturais.

REFERENCIAS

ACOSTA, J. A. A.; AMADO, T. J. C.; DA SILVA, L. S.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p.801-809, 2014.

ADETUNJI, A. T.; LEWU, F. B.; MULIDZI, R.; NCUBE, B. The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 17, n. 3, p. 794-807, 2017.

AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **Journal of King Saud University - Science**, v. 26, n. 1, p. 1-20, 2014.

ALBERNAS, K. K. **Viabilidade agrônômica da inoculação de bactérias promotoras de crescimento na cultura do milho**. Dissertação de Mestrado em Ciência do solo. Universidade Federal do Paraná: 1-39, 2019.

ALBIACH, R.; CANET, R.; POMARES, F.; INGELMO, F. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. **Bioresource technology**, v. 75, n. 1, p. 43-48, 2000.

ALEN'KINA, S. A., NIKITINA, V. E., BORISOVA-GOLOVKO, M. V. Investigation of the Relationship between the Lectin Activity of Azospirilla and Their α -Glucosidase, β -Glucosidase, and β -Galactosidase. **Microbiology**, v. 70, p. 557-559, 2001.

ALMEIDA, R. F.; NAVES, E. R.; MOTA, R. P. Soil quality: Enzymatic activity of soil β -glucosidase. **Global Journal of Agricultural Research and Reviews**, v. 3, n. 2, p. 146-450, 2015.

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.74, p.19-31, 1999.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. **Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto**. Embrapa Milho e Sorgo – Artigo em periódico indexado (ALICE), informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 22, n° 22, p. 25-36, 2001.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARANTE, L.; LIMA, J. D.; SODEK, L. Growth and stress conditions cause similar changes in xylem amino acids for different legume species. **Environmental and experimental Botany**, v. 58, n. 1-3, p. 123-129, 2006.

ARAUJO, E. O.; FREITAS, D. S.; CATANIO, J. V. F.; VIANA FILHO, L. A. B.; GUIMARAES, E. G. Performance of common bean cultivated in succession to cover crops. **Rev. Gest. Soc. Ambient.**, Miami, v.18, n.4, p.1-12, e04638, 2024.

ARF, O., RODRIGUES, R.A.F., SÁ, M.E., BUZETTI, S., NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.2, p.131-138, 2004.

ARIF, M. S., RIAZ, M., SHAHZAD, S. M., YASMEEN, T., AKHTAR, M. J., RIAZ, M. A., JASSEY, V. E. J., BRAGAZZA, L., BUTTLER, A. Associative interplay of plant growth promoting rhizobacteria (*Pseudomonas aeruginosa* QS40) with nitrogen fertilizers improves sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity and fertility of aridisol. **Applied Soil Ecology**, v. 108, p. 238-247, 2016.

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Maryland, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.

ASSAD¹, E. D.; ASSAD², M. L. R. C. L. Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. Desafios e oportunidades. **Estudos Avançados**, v. 38, n. 112, p. 271-292, 2024.

ASSIS, E. P. M; CORDEIRO, M. A. S.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 107-112, 2003.

BARBER, J. Photosystem II: the engine of life. *Quarterly Reviews of Biophysics*, v. 36, n. 1, p. 71–89, 2003.

BETTIOL, J. V. T. **Produção sustentável do feijão comum: inoculação, co.inoculação e adubação mineral em cultivares de ciclo precoce**. Dissertação (Mestrado)—Curso de Agronomia, Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2019.

BETTIOL, J. V. T.; PEDRINHO, A.; MERLOTI, L. F.; BOSSOLANI, J. W.; SÁ, M. E. Plantas de cobertura, utilizando *Urochloa ruziziensis* solteira e em consórcio com leguminosas e seus efeitos sobre a produtividade de sementes do feijoeiro. **Uniciências**, v. 19, n. 1, 2015.

BIELESKI, R.L.; TURNER, N.A., 1966. Separation and estimation of amino acids in crude plants extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Anal. Biochem.**, v. 17, p. 278-293, 1966.

BLACKMER, T. M., SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n. 9/10, p. 1791-1800, 1995.

BORGES, C. D. Alterações microbianas do solo sob sistema de semeadura direta e rotação de culturas. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

BRACCINI, A. L.; MARIUCCI, G. E. G.; SUZUKAWA, A. K.; SILVA LIMA, L. H. H.; PICCININ, G. H. G. Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 1, p. 27-35, 2016.

- CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIAÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, p. 77-86, 2010.
- CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; BEZERRA, L. M. C.; GONÇALVES, J. G. R.; ROVARIS, S. R. S.; GONÇALVES, G. M. C.; PAULOINO, J. F. C. IAC 2051: common bean cultivar of carioca type with slow seed coat darkening. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, p. e36282128, 2021.
- CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2067-2073, 2010.
- CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M.; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo de fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.661- 669, 2004.
- CASSINI, S. T. A., *et al.* Fixação biológica de nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. *Feijão*, 2006, vol. 2, p. 143-159.
- CATALDO, D.A.; HARRON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 6, p. 71-80, 1975.
- CHAVES, V. B. S., GUIMARÃES, T. M., BEZERRA, A. C. T. P., DA COSTA, C. H. M., & CRUZ, S. C. S. Enzymatic Activity in Different Crop Succession Systems in the Cerrado Region. **Agronomy**, v. 14, n. 4, 810, 2024.
- CHEN, B.; LIU, E.; TIAN, Q.; YAN, C.; ZHANG, Y. Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 34, p. 429-442, 2014.
- COELHO, J.D. Feijão: produção e mercados. **Caderno Setorial ETENE**, n.197, p.1-9, 2021.
- COELHO, L. G. F.; BOMFIM, C. A.; MENDES, I. C.; VALE, H. M. M.; JUNIOR, F. B. R. A inoculação do feijoeiro no Brasil: Alternativas para aumentar a produtividade utilizando microrganismos promotores do crescimento vegetal. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2021. 47 p. (Documentos, 384).
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, terceiro levantamento, dezembro 2023**. v. 11, n. 3. 2023.
- COSTA, D.S.; BARBOSA, R.M.; SÁ, M.E. Sistemas de produção e cultivares de feijoeiro em consórcio com milho. **Scientia Agraria**, v.11, p.425-430, 2010.
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1545-1552, 2007.
- DAVIES, B. H. Carotenoids. In: Goodwin, T. W. (Ed.). *Chemistry and biochemistry of plant pigments* London: Academic Press, 1976. p.38-165.

DIAS, A. C. Transformações do nitrogênio no solo. Cardoso, E. J., Andreote, F. D. **Microbiologia do solo**, p. 99-109, 2016.

Dick, W.A., Tabatabai, M.A. Significance and Potential Uses of Soil Enzymes. **Soil Microbial Ecology: Application in Agricultural and Environmental Management**. Marcel Dekker, New York, p. 95–125, 1993.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000, 385 p.

DUAN, C., MEI, Y., WANG, Q., WANG, Y., LI, Q., HONG, M., HU, S., LI, S., FANG, L. *Rhizobium* inoculation enhances the resistance of alfalfa and microbial characteristics in copper-contaminated soil. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 781831, 2022.

ESPÍNDOLA, J.A.A; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. Adubação verde: estratégias para uma agricultura sustentável. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 1997. 20p. Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia. (Documentos, 42).

EVANS, L. T.; FISCHER, R. A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop science**, 1999, vol. 39, no 6, p. 1544-1551.

FAO. FAOSTAT. **Fertilizer by nutriente**. 2023.

FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LOPES, M. Etapas de desarrollo de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1986.34 p.

FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. **Arroz e Feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília: Embrapa, 2021. 164 p.

FERREIRA, D.F.; SISVAR: **Sistema de análise de variância**. versão 4.2. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000.

FONSECA, E. V. **Atividade enzimática como indicadora de qualidade do solo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2021.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52p. (Documentos, 327).

FRANZINI, V. I., AZCÓN, R., MÉNDES, F. L., AROCA, R. Different interaction among *Glomus* and rhizobium species on *Phaseolus vulgaris* and *Zea mays* plant growth, physiology and symbiotic development under moderate drought stress conditions. **Plant Growth Regul**, v. 70, p. 265–273, 2013.

GARCIA, C.; HERNANDEZ T.; ROLDAN, A.; MARTIN, A. Effect of plant cover decline on chemical and microbiological parameters under Mediterranean climate. **Soil Biology and Biochemistry**, 2002, vol. 34, no 5, p. 635-642.

GASSEN, D. **A adubação verde e o plantio direto**. Revista Plantio Direto, maç./abr., p. 32-38, 2010.

GILABEL, A. P. Coinoculação de rhizobium e azospirillum e adubação nitrogenada na cultura do feijão comum. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciência Agrônômica. Repositorio UNESP, 2018.

GITTI, D. D. C.; ARF, O.; KANEKO, F. H.; RODRIGUES, R. A. F.; BUZETTI, S.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C. Inoculation of *Azospirillum brasilense* cultivars of beans types in winter crop. **Revista Agrarian**, v. 5, n. 15, p. 36-46, 2012.

GRASSI FILHO, H. Funções do nitrogênio e enxofre nas plantas. In: VALE, D. W.; SOUSA, J. I.; PRADO, R. M. **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Jaboticabal: FCAV, 2010. p. 187-197.

GRUSZECKI, W. I.; STRZAŁKA, K. Carotenoids as modulators of lipid membrane physical properties. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease**, v. 1740, n. 2, p. 108-115, 2005.

HAVAUX, M.; DALL'OSTO, L.; BASSI, R. Zeaxanthin has enhanced antioxidant capacity with respect to all other xanthophylls in Arabidopsis leaves and functions independent of binding to PSII antennae. **Plant physiology**, v. 145, n. 4, p. 1506-1520, 2007.

HEATON, J. W.; MARANGONI, A. G. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends in Food Science and Technology**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 8-15, jan. 1996.

HERRADA, M. R.; LEANDRO, W. M.; FERREIRA, E. P. B. Leguminosas isoladas e consorciadas com milho em diferentes sistemas de manejo do solo no feijão orgânico. **Terra Latinoamericana**, v. 35, n. 4, p. 293-299, 2017.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 37 p. (Documentos, 325).

HUNGRIA, M., CAMPO, R. J., MENDES, I. C. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium tropici* strains. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, p. 88-93, 2003.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in South America. In: SINGH, R. P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P. K. (Ed.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Houston: Studium Press, 2006. p. 43-93.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; SOUZA, E.M.S.; PEDROSA, F.O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, Netherlands, 2010. p.413-425.

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

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A.T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field crops research**, 2000, vol. 65, no 2-3, p. 151-164.

- JU, W., LIU, L., FANG, L., CUI, Y., DUAN, C., WU, H. Impact of co-inoculation with plant-growth-promoting rhizobacteria and rhizobium on the biochemical responses of alfalfa-soil system in copper contaminated soil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 167, p. 218-226, 2019.
- KAPPES, C.; GITTI, D. C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C.; TARSITANO, M. A. A. Análise econômica do milho em sucessão a diferentes adubos verdes, manejos do solo e doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, p.55-64, 2015.
- KLIMOV, V. V. Discovery of pheophytin function in the photosynthetic energy conversion as the primary electron acceptor of Photosystem II. **Photosynthesis Research**, v. 10, p. 305–314, 1986.
- KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e Manejo do Sistema Plantio Direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36p. (Documentos, 20).
- KUMAR, S.; CHAUDHURI, S.; MAITI, S. K. Soil dehydrogenase enzyme activity in natural and mine soil-a review. **Middle East J Sci Res**, 2013, vol. 13, no 7, p. 898-906.
- LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013.
- LOPES, S. A.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: Associação Nacional para difusão de Adubos – ANDA, 2004. 110 p.
- LUNA, B. N. C. Rotação de culturas, adubação verde e inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* sobre os componentes de produção e produtividade do feijão-comum em sistema plantio direto na região de cerrado. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2023.
- LUNN, J. E., DELORGE, I., FIGUEROA, C. M., VAN DIJCK, P., STITT, M. Trehalose metabolism in plants. **Plant J**, v. 79, p. 544–567, 2014.
- Malavolta, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 1Ed, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.
- MANOS, M. G. L.; OLIVEIRA, M. G. C.; MARTINS, C. R. Informações Técnicas para o Cultivo do Feijoeiro Comum na Região Nordeste Brasileira 2012-2014. Aracaju: 17ª Reunião da Comissão técnica Norte/Nordeste Brasileira de Feijão- CNTNBF, 2013. 199 p. (Documentos, 181).
- MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; RANGEL, F. W.; RIBEIRO, J. R. A.; NEVES, M. C. P.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N. G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the Semi-Arid Region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 38, p. 333-339, 2003

MATTEI, L. O papel e a importância da agricultura familiar no desenvolvimento rural brasileiro contemporâneo. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza - CE, v. 45, p. 83-91, 2014.

MCCULLOUGH, H. The determination of ammonium in whole blood by a direct colorimetric method. **Clin. Chim. Acta.**, v. 17, p. 297-304, 1967.

MEIRELLES, F. C.; *et al.* Coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium Tropicum* em Feijão em Cultivo Irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 11, Londrina - PR. Anais... Congresso Nacional De Pesquisa De Feijão, 2014.

MELO, L.C. (Ed.) Procedimentos para condução de ensaios de valor de cultivo e uso em feijoeiro-comum. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2009. 104p. (Embrapa Arroz e Feijão, Série Documentos, 239)

MELO, W. J.; MELO, G. M. P.; ARAÚJO, A. S. F.; MELO, V. P. Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, C. E. R. S.; STAMFORD, N. P. (ed.). **Biotecnologia aplicada à agricultura**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2010. p. 153-187.

MENDES, I.C.; SOUSA, D.M.G; REIS, F. B. J.; LOPES, A. A. **Bioanálise do solo**: Como interpretar a saúde do solo. Planaltina: Embrapa Cerrados; 2018. (Circular técnica 38).

MIRKOVIC, T.; OSTROUMOV, E. V.; ANNA, J. M.; GRONDELLE, R. V.; SCHOLE, G. D. Light absorption and energy transfer in the antenna complexes of photosynthetic organisms. **Chemical reviews**, 2017, vol. 117, no 2, p. 249-293.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

MOSQUERA, M. I. M.; GÁLVEZ, A. P.; MÉNDEZ, D; H. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales: mucho más que simples “colorantes” naturales. **CTC alimentación**, 2005, vol. 26, p. 108-113.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. de. **Plantio Direto**: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. 144 p.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 655-663, 2003.

OLIVEIRA, C. A. B.; PELÁ¹, G. M.; PELÁ², A. Inoculação com *Rhizobium tropicum* e adubação foliar com molibdênio na cultura do feijão comum. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 5, p. 43-50, 2017.

PADOVAN, M. P.; CARNEIRO, L. F.; FELISBERTO, G.; NASCIMENTO, J. S.; CARNEIRO, D. N. M. Milho cultivado em sucessão a adubos verdes em sistemas sob bases agroecológicas. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 4, p. 377-385, 2015.

PAIVA, P. J. R.; NICOMO, M. L. F. **Enxofre no sistema solo-planta-animal**. 1994.

- PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; FERREIRA, E. P. B.; VIANA, A. P. Biologic dinitrogen fixation and nutrient cycling in cover crops and their effect on organic Conilon coffee. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 3, p. 995-1006, 2011.
- PEREIRA, V. G. C.; GRIS, D. J.; MARANGONI, T.; FTIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUK, A. D. Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2014.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.
- PIEKIELEK, W. P., FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- POSSE, S. C. P.; RIVA-SOUZA, E. M.; SILVA, G. M.; FASOLO, L. M.; SILVA M. B.; ROCHA, M. A. M. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira: 2009-2011**. Vitória: Incaper, 2010. 245 p. (Documentos, 191).
- PRANDO A. M. *et al.* **Coinoculação da Soja com Bradyrhizobium e Azospirillum na Safra 2018/2019 no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja; 2019. (Circular técnica, 156).
- RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1637-1645, 2004.
- REINA-BUENO, M., ARGANDOÑA, M., NIETO, J. J., HIDALGO-GARCÍA, A., IGLESIAS-GUERRA, F., DELGADO, M. J., VARGAS, C. Role of trehalose in heat and desiccation tolerance in the soil bacterium *Rhizobium etli*. **BMC Microbiol**, v. 12, 207, 2012.
- RODRIGUES, A.C.; ANTUNES, J.E.L.; MEDEIROS, V.V. de; BARROS, B.G. de F.; FIGUEIREDO, M. do V.B. Resposta da coinoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas e *Rhizobium tropici* em caupi. **Bioscience Journal**, v.28, p.196-202, 2012.
- ROSA, W. B.; JUNIOR, J. B. D.; COSTA, A. C. T.; LANA, M. C.; QUEIROZ, S. B.; PEREGO, I. Desempenho agronômico e viabilidade econômica da adubação nitrogenada e molíbdica no feijão comum. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65815-65831, 2020.
- SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A. dos; MARTINS, A. C. E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 1-21, 1 jan. 2020.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. F. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F.; **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, n. 1, 2019.

SCHADCHINA, T. M., DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, p. 1427-1437, 1995.

SCHOSSLER, J. H.; MEERT, L.; RIZZARDI, D. A.; MICHALOVICZ, L. Componentes de rendimento e produtividade do feijoeiro comum submetido à inoculação e coinoculação com estirpes de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, p. 10-15, 2016.

SCHOSSLER, J. H.; MEERT, L.; RIZZARDI, D. A.; MICHALOVICZ, L. Componentes de rendimento e produtividade do feijoeiro comum submetido à inoculação e coinoculação com estirpes de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 10-15, 2016.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. O feijão-comum no Brasil: passado, presente e futuro. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2013. 63 p. (Documentos, 287).

SIMKIN, A. J. Carotenoids and apocarotenoids in planta: Their role in plant development, contribution to the flavour and aroma of fruits and flowers, and their nutraceutical benefits. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2321, 2021.

SIMON, C. A., CORDEIRO, M. S., DE LIMA, S. F., BRASIL, M. D. S., DE DAVID, C. H., & SECCO, V. A. Microbial activity in a soil with cover crops in succession with maize in a no-tillage system. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 92, n. 2, p. 198-207, 2017.

SMEAL, D., ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n. 9/10, p. 1495-1503, 1994.

SODEK, L.; SILVA, D. M. Nitrate inhibits soybean nodulation and nodule activity when applied to root regions distant from the nodulation sites. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** 8: 187-191, 1996.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. de. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 327-334, abr. 2004.

SORATTO, R.P., ARF, O. RODRIGUES, R.A.F.R., BUZETTI, S., SILVA, T.R.B. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n. 1, p. 89-96, 2003.

SPRENT, J. I. Legume nodulation: a global perspective. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2009.

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

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, p. 748-755, 2005.

THRALL, P. H., BEVER, J. D., SLATTERY, J. F. Rhizobial mediation of Acacia adaptation to soil salinity: evidence of underlying trade-offs and tests of expected plants. **J Ecol**, v. 96, p. 746–755, 2008.

TOLOSA, ANNE ROEFERO. **Respostas da batata-doce à inoculação de micorriza e rizobactéria**. 2021. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2021.

TURNER, B. L.; HOPKINS, D. W.; HAYGARTH, P. M.; OSTLE, N. β -Glucosidase activity in pasture soils. **Applied Soil Ecology**, v. 20, n. 2, p. 157-162, 2002.

VARGAS, M. A., MENDES, I. C., HUNGRIA, M. Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to *Rhizobium* inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, p. 228-233, 2000.

VOGELS, G.D.; VAN DER DRIFT, C. Differential analyses of glyoxylate derivatives. **Anal. Biochem.**, v. 33, p. 143-157, 1970.

WDOWIAK-WRÓBEL, S., LESZCZ, A., MAŁEK, W. Salt tolerance in *Astragaluscicer* micro-symbionts: the role of glycine betaine in osmo protection. **Curr Microbiol**, v. 66, p. 428–436, 2013.

WOLINSKA, A.; STĘPNIEWSKA, Z.; PYTLAK, A. The effect of environmental factors on total soil DNA content and dehydrogenase activity. **Archives of Biological Sciences**, v. 67, n. 2, p. 493-501, 2015.

WUTKE, E.B.; CHIORATO, A.F.; ESTEVES, J.A.F.; CARBONELL, S.A.M.; AMBROSANO, E.J. ; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P.; ARF, O.; CATARELLA, H. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JR, D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B. van. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 2022. p. 246-249. (Boletim Técnico 100).

YADEGARI, M. Inoculation of bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds with *Rizobium phaseoli* and plant growth promoting rhizobacteria. **Advances in Environmental Biology**, v. 8, n. 2, p. 419-424, 2014.

YURGEL, S.N., RICE, J., MULDER, M., KAHN, M. L., BELOVA, V. S., ROUMIANTSEVA, M. L. Truncated betB2-144 plays a critical role in *Sinorhizobiummeliloti* Rm2011 osmo protection and glycine- betaine catabolism. **Eur J Soil Biol**, v. 54, p. 48–55, 2013.

ZHANG, J., WANG, N., LI, S., WANG, J., FENG, Y., WANG, E., ... & CHEN, W. The effect of different rhizobial symbionts on the composition and diversity of rhizosphere microorganisms of chickpea in different soils. **Plants**, v. 12, n. 19, 3421, 2023.

ZHONG, Y., YANG, Y., LIU, P., XU, R., RENSING, C., FU, X., LIAO, H. Genotype and rhizobium inoculation modulate the assembly of soybean rhizobacterial communities. **Plant, cell & environment**, v. 42, n. 6, p. 2028-2044, 2019.

ASPECTOS GERAIS DA CULTURA EM CAMPO

Figura 2 – Instalação do experimento: Semeadura da cultura, 13/05/2024.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 3 – Plântulas com um dia após a emergência, 20/05/2024.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 4 – Desenvolvimento das plantas no dia do estaqueamento das parcelas, 23/05/2024.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 5 – Primeira aplicação de *Azospirillum brasilense*, 28/05/2024.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 6 – Aspecto geral da cultura na adubação nitrogenada, 11/06/2024.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 7 – Aspecto geral da cultura na segunda aplicação de *Azospirillum brasilense*, 17/06/2024.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 8 – Aspecto geral da cultura no dia 27/06/2024.



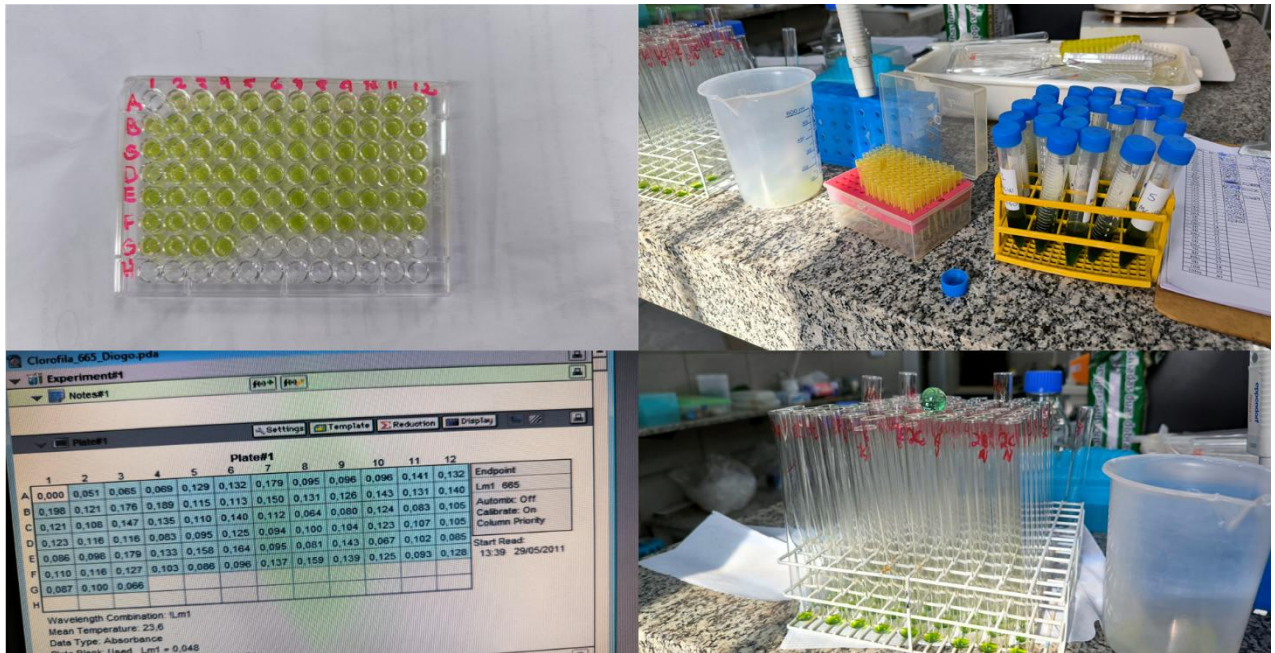
Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 9 – Colheita e secagem das parcelas experimentais, 09/08/2024.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 10 – Início das análises de compostos nitrogenados, clorofilas a, b e carotenoides, 12/08/2024.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 11 – Início da análise de rendimento de peneira, 10/10/2024.



Fonte: Próprio autor, 2024.