

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS CENTRAL DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – SEDE: ANÁPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
AMANDA CRISTINA ELIAS LOURENÇO

**REINOCULAÇÃO DE RIZÓBIO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE CRESCIMENTO
DO FEJJOEIRO**

ANÁPOLIS – GO
2021

AMANDA CRISTINA ELIAS LOURENÇO

**REINOCULAÇÃO DE RIZÓBIO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE CRESCIMENTO
DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás - Câmpus Central de Ciências Exatas e Tecnológicas - Sede: Anápolis, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Tecnologia de aplicação.

Orientador: Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CL892 Cristina Elias Lourenço, Amanda
r Reinoculação de ribóbio em diferentes estádios de
crescimento do feijoeiro / Amanda Cristina Elias
Lourenço; orientador Itamar Rosa Teixeira. -- Anápolis,
2021.
67 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola) -- Câmpus
Central - Sede: Anápolis - CET, Universidade Estadual
de Goiás, 2021.

1. P. vulgaris. 2. Nutrição de planta. 3. FBN. 4.
Acúmulo de biomassa. 5. Rendimento. I. Rosa Teixeira,
Itamar, orient. II. Título.

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD)

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, **CsA n.1087/2019** sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

Dados do autor (a)

Nome Completo: Amanda Cristina Elias lourenço

E-mail: eliasamanda96@gmail.com

Dados do trabalho

Título: Reinoculação de rizóbio em diferentes estádios de crescimento do feijoeiro

Tipo

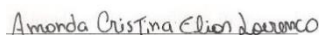
() Tese (X) Dissertação

Curso/Programa: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás (PPGEA)

Concorda com a liberação documento [X] SIM [] NÃO¹

Anápolis, 30/11/2021

Local Data



Assinatura do autor (a)



Assinatura do orientador (a)

¹ Casos de impedimento:

- Período de embargo é de um ano a partir da data de defesa
- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da Dissertação/Tese em livro.

AMANDA CRISTINA ELIAS LOURENÇO

**REINOCULAÇÃO DE RIZÓBIO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE
CRESCIMENTO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás - Câmpus Central de Ciências Exatas e Tecnológicas - Sede: Anápolis, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: Anápolis, 30 de novembro de 2021.



Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira
UEG



Prof^a. Dra. Gisele Carneiro da Silva Teixeira
UEG



Prof^a. Dra. Cristiane Fernandes Lisboa
UFRA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me permitir, me capacitar mais uma vez e por me sustentar durante todos os desafios até aqui enfrentados.

Agradeço aos meus pais, Roberta Cristina Alex Elias Lourenço e Osvaldo Lourenço da Silva, pelo incentivo, apoio e paciência durante todo esse período.

Aos demais membros da minha família, por sempre acreditarem em mim.

Aos colegas de pós-graduação, em especial Rodrigo Starneck, Gabriella Campos, Maressa Silva, Cristiane Pericoli e sua família, meus mais sinceros agradecimentos por toda ajuda e companheirismo.

A todos os funcionários e diretor da EMATER em Anápolis, por toda atenção e auxílio durante a condução dos experimentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira, por toda disponibilidade, direcionamento, paciência, auxílio e contribuições na minha formação profissional.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Estadual de Goiás - Câmpus Central e ao Programa de Mestrado Stricto Sensu em Engenharia Agrícola.

E todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta pesquisa se tornasse realidade.

Graças a vocês, cheguei até aqui. Obrigada.

RESUMO

A cultura de feijão é reconhecidamente exigente em nitrogênio, sendo a adubação mineral a principal forma de fornecimento às plantas atualmente. Porém, a disponibilização de inoculantes mais eficientes no mercado, contendo estirpes de *R. tropici* potencialmente mais eficientes na fixação do N₂ atmosférico, pode substituir o uso de adubos nitrogenados, bastando para isso que alguns gargalos existentes na metodologia de aplicação sejam superados, a exemplo da garantia da existência de nódulos ativos nas fases de maior exigência da cultura. Assim, este trabalho teve por objetivo averiguar a capacidade de resposta do feijão cv. BRS FC402, submetido a reinoculação de células rizobianas em cobertura, aplicado em diferentes estádios de crescimento das plantas, nas condições edafoclimáticas do cerrado. Foram implantados dois experimentos, um em casa de vegetação (DIC) e outro em campo (DBC) na safra das águas de 2020/21, com quatro repetições, sendo testados os seguintes tratamentos em ambos os experimentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6 e T10 = adubação mineral nitrogenada. O experimento de casa de vegetação foi conduzido até o estádio R7, sendo avaliada as variáveis referentes à nodulação e a morfologia das plantas, enquanto o experimento de campo foi conduzido até o final do ciclo, com avaliação das variáveis de nodulação e morfológicas no estádio R7 e das variáveis agrônômicas no estádio R9, por ocasião da colheita. A realização do estudo possibilitou a obtenção das seguintes conclusões: O uso da reinoculação de células rizobianas em cobertura, em complementação a inoculação na semeadura via semente, influenciou positivamente o processo de nodulação do feijoeiro. As características morfológicas das plantas de feijão apresentaram bom desenvolvimento com o fornecimento de N realizado pela inoculação e reinoculação em cobertura, equivalente a adição de adubo mineral nitrogenado. A reinoculação em cobertura nos estádios reprodutivos R5 a R7, não se mostraram eficiente no fornecimento de N à cultura de feijão. A inoculação aplicada via semente associada a reinoculação em cobertura no estádio V4 propiciou maior rendimento da cultura do feijão, podendo substituir o uso de adubo mineral nitrogenado.

Palavras-chave: *P. vulgaris*. Nutrição de planta. FBN. Acúmulo de biomassa. Rendimento.

ABSTRACT

The bean crop is admittedly demanding nitrogen, with mineral fertilization being the main supply to plants today. However, the availability of more efficient inoculants on the market, containing strains of *R. tropici* potentially more efficient in fixing atmospheric N₂, can replace the use of nitrogen fertilizers, as long as some existing bottlenecks in the application methodology are overcome, for example, guaranteeing the existence of active nodules in the most demanding phases of the crop. Thus, this work aimed to investigate the response capacity of bean plants, BRS FC402 cultivar, submitted to re-inoculating Rhizobium cells in topdressing, applied in different stages of plant growth, in the edaphoclimatic conditions from the Cerrado. Two experiments were implemented, one in a greenhouse (CRD) and another in the field (RBD) in the 2020/2021 harvest, in the rainy season, with four replications. The following treatments were evaluated in both experiments: T1 = non-inoculated - control; T2 = inoculation via seed (VS); T3 = VS + re-inoculation at the V4 stage; T4 = VS + re-inoculation at the R5 stage; T5 = VS + re-inoculation at the R6 stage; T6 = VS + re-inoculation at the V4 and R5 stages; T7 = VS + re-inoculation at the V4 and R6 stages; T8 = VS + re-inoculation at the R5 and R6 stages; T9 = VS + re-inoculation at the V4, R5, and R6 stages, and T10 = mineral nitrogen fertilization. The greenhouse experiment was carried out until the R7 stage, with an evaluation of the variables referring to nodulation and plant morphology, while the field experiment was carried out until the end of the cycle, with the assessment of the nodulation and morphological variables at the R7 stage. and agronomic variables at the R9 stage, at harvest time. The accomplishment of the study made it possible to obtain the following conclusions: The use of re-inoculation of rhizobium cells in topdressing, besides the inoculation at sowing via seed, positively influenced the bean nodulation process. The morphological characteristics of bean plants showed good development with the supply of N performed by inoculation and re-inoculation in topdressing, equivalent to the addition of mineral nitrogen fertilizer. The topdressing re-inoculation at the reproductive stages, R5 to R7, did not prove to be efficient in supplying N to the bean crop. Inoculation applied via seed associated with re-inoculation in topdressing at the V4 stage provided a higher grain yield of the bean crop, being able to replace the use of mineral nitrogen fertilizer.

Keywords: *P. vulgaris*. Plant nutrition. NBF. Biomass accumulation. Yield

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados meteorológicos durante a condução do experimento na safra das águas 2020/2021. Anápolis/GO, INMET. 23

Figura 2 - Valores médios do nódulos totais (NT). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 34

Figura 3 - Valores médios da massa seca de nódulos (MSN). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 35

Figura 4 - Valores médios comprimento da raiz principal (CRP). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. . 37

Figura 5 - Valores médios da massa seca da raiz (MSR). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 38

Figura 6 - Valores médios da altura de planta (AP). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 38

Figura 7 - Valores médios da massa seca da parte aérea (MSPA). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS

+ reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. .40

Figura 8 - Valores médios de nódulos totais (NT). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.41

Figura 9 - Valores médios da massa seca de nódulos (MSN). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.43

Figura 10 - Valores médios do comprimento da raiz principal (CRP). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.45

Figura 11 - Valores médios da massa seca da raiz (MSR). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.46

Figura 12 - Valores médios da massa seca da parte aérea (MSPA). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.47

Figura 13 - Valores médios do índice de área foliar (IAF). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.48

Figura 14 - Valores médios do número de vagens por planta (NVP). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 50

Figura 15 - Valores médios do peso de cem grãos (PCG) Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 51

Figura 16 - Valores médios de produtividade (PROD). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 52

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Características químicas e físicas do solo, coletado na camada 0-20 cm, na área da Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária (EMATER). Anápolis/GO, 2020 ¹ | 24 |
| Tabela 2 - Tratamentos aplicados em ambos os experimentos. | 25 |
| Tabela 3 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: nódulos totais (NT) e massa seca de nódulos (MSN). Experimento I – casa de vegetação..... | 33 |
| Tabela 4 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: comprimento da raiz principal (CRP), massa seca da raiz (MSR), altura de planta (AP), massa seca da parte aérea (MSPA) e teor de nitrogênio (TN). Experimento I – casa de vegetação. | 36 |
| Tabela 5 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: nódulos totais (NT) e massa seca de nódulos (MSN). Experimento II – campo. | 41 |
| Tabela 6 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: comprimento da raiz principal (CRP), massa seca da raiz (MSR), altura de planta (AP), massa seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio (TN), diâmetro do caule (DC) e índice de área foliar (IAF). Experimento II – campo. | 44 |
| Tabela 7 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (PCG), produtividade (PROD) e estande final (EF). Experimento II – campo..... | 48 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1 | Aspectos gerais da cultura | 13 |
| 2.2 | Fenologia do feijão | 15 |
| 2.3 | Nitrogênio no feijoeiro | 18 |
| 2.4 | Resposta do feijão à FBN | 20 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 23 |
| 3.1 | Informações Gerais | 23 |
| 3.2 | Descrição dos delineamentos e tratamentos | 25 |
| 3.3 | Experimento I - casa de Vegetação | 26 |
| 3.3.1 | Análises nodulares | 27 |
| 3.3.1.1 | Nódulos Totais (NT) | 27 |
| 3.3.1.2 | Massa seca dos nódulos | 27 |
| 3.3.2 | Análises morfológicas | 27 |
| 3.3.2.1 | Comprimento da raiz principal (CRP) | 27 |
| 3.3.2.2 | Massa seca da parte aérea (MSPA) e Massa seca da raiz (MSR) | 27 |
| 3.3.2.3 | Altura de planta (AP) | 28 |
| 3.3.2.4 | Teor de Nitrogênio foliar (TN) | 28 |
| 3.4 | Experimento II – campo | 29 |
| 3.4.1 | Diâmetro do caule (DC) | 30 |
| 3.4.2 | Índice de área foliar (IAF) | 30 |
| 3.4.3 | Análises agronômicas | 30 |
| 3.4.3.1 | Número de vagens por planta (NVP) | 31 |
| 3.4.3.2 | Número de grãos por vagem (NGV) | 31 |
| 3.4.3.3 | Peso de cem grãos (PCG) | 31 |
| 3.4.3.4 | Produtividade de grãos (PROD) | 31 |
| 3.4.3.5 | Estande final (EF) | 31 |
| 3.5 | Análise Estatística | 32 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 33 |
| 4.1 | Experimento I - Casa de vegetação | 33 |
| 4.1.1 | Análises Nodulares | 33 |

| | | |
|------------|------------------------------------|-----------|
| 4.1.2 | Análises Morfológicas..... | 36 |
| 4.2 | Experimento II - campo..... | 40 |
| 4.2.1 | Análises Nodulares..... | 40 |
| 4.2.2 | Análises Morfológicas..... | 44 |
| 4.2.3 | Análises Agronômicas..... | 48 |
| 5 | CONCLUSÃO | 53 |

1 INTRODUÇÃO

O feijão figura entre uma das mais importantes fabáceas cultivadas mundialmente. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial do gênero *Phaseolus*, ficando atrás apenas de Myanmar e Índia, respectivamente, e o maior produtor e consumidor de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), com consumo per capita estimado em 15 kg ano⁻¹ (FAOSTAT, 2020).

Sua importância social e econômica é evidenciada, principalmente, por apresentar papel muito importante na dieta alimentar, uma vez que apresenta boa fonte de energia, boa qualidade de proteínas, baixo teor de gordura e é rico em fibra alimentar, constituindo uma boa base alimentar a baixo custo (COELHO, 2018; BARBOSA et al., 2010).

Embora a cultura venha ganhando espaço em todo o território nacional, graças a profissionalização do plantio, tecnologia de ponta, sistemas de irrigação, uso de insumos de maneira adequada, e, principalmente, ao melhoramento genético, sua produtividade média ainda é considerada relativamente baixa, com produtividade de 1.104 kg ha⁻¹ obtida na safra 2019/2020 (CONAB, 2021). Isso pode ser explicado pelo fato de que a maior parte da sua produção provém da agricultura familiar, carente de tecnologias adequadas, em sua maioria, além da prática do cultivo em solos com baixos teores de nutrientes exigidos pela cultura, com ênfase ao nitrogênio (CTSBF, 2012).

Devido ao ciclo curto e sistema radicular superficial e pequeno, o feijoeiro é uma cultura exigente em nutrientes, necessitando de boa disponibilidade dos mesmos em tempo e locais adequados. Dentre as exigências nutricionais do feijoeiro, o nitrogênio (N) pode ser considerado o mais importante, já que é um macronutriente presente na constituição da célula vegetal, compondo ácidos nucleicos, aminoácidos e proteínas, além de participar de diversos processos responsáveis pela divisão e expansão celular (ROSOLEM e MARUBAYASHI, 1994).

O feijoeiro pode chegar a absorver mais de 200 kg ha⁻¹ de N, para a maioria das cultivares, durante todo o ciclo e com exportação média de 36,5 kg de N por tonelada de grãos (ARF et al., 2015; GRASSI FILHO, 2010; GUERRA et al., 2000). Dessa forma, o N é responsável pelo crescimento vegetal do feijão, e sua carência inibe rapidamente sua produção, sendo, portanto, um fator limitante da cultura (TAIZ e ZEIGER, 2013).

O nitrogênio necessário ao feijoeiro pode ser disponibilizado via solo (pela mineralização da matéria orgânica), via fertilizantes nitrogenados industrializados, pela fixação não biológica e por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN). O N no solo é uma fonte limitada, que é facilmente esgotado após alguns cultivos (BARBOSA et al., 2010). O uso de adubos nitrogenados, além de apresentarem elevado custo e exigirem aplicações cada vez mais frequentes por sua baixa eficiência, apresentam um custo ecológico adicional, devido as perdas por lixiviação na forma de nitrato e de escoamento superficial, e por processos de desnitrificação e volatilização, sendo, portanto, altamente poluentes (PELEGRIN et al., 2009).

As fabáceas, como é o caso do feijoeiro, apresentam a capacidade de fixar N da atmosfera em nitrogênio assimilável pelas plantas, quando em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, que estão presentes em alguns tipos de inoculantes. Estes, ao entrarem em contato com a planta, induzem a formação de nódulos radiculares e dentro destes ocorre o processo de FBN, disponibilizando esse macronutriente, que é levado pelo xilema na corrente transpiratória (EMBRAPA, 2019; HUNGRIA et al., 2013).

A FBN se apresenta como uma alternativa viável para o fornecimento de N à cultura, onde, através da mesma, o feijoeiro consegue fixar de 20 a 30% do N que necessita, podendo contribuir com 20 a 40 kg ha⁻¹ de N (FANCELLI e DOURADO NETO, 2007). Contudo, estirpes atuais de *R. tropici* (SEMIA 4077, SEMIA 4080 ou SEMIA 4088) predominantes nos inoculantes comerciais pode garantir produtividade entre 1500 e 2000 kg ha⁻¹, chegando a 3.000 kg ha⁻¹ com o uso de irrigação (HUNGRIA et al., 2013; EMBRAPA, 2019).

No feijoeiro, a fase vegetativa, especificamente o estágio V4, inicia quando a terceira folha trifoliolada encontra-se aberta e plana, finalizando com o surgimento dos botões florais. Nessa fase, o crescimento e absorção de nutrientes se aceleram e, portanto, todos os nutrientes devem estar à disposição para serem absorvidos, principalmente o nitrogênio. O período de pré-floração é classificado como fase reprodutiva cinco (estádio R5), quando há o desenvolvimento dos primeiros ramos secundários e o surgimento dos primeiros botões florais. Já a fase de floração é classificada como fase reprodutiva seis (R6), que se inicia quando a planta apresenta 50% das flores abertas e finaliza com 100% de abertura. Nessas duas últimas, há um rápido acúmulo de nutrientes pela planta, as quais devem estar equilibradas para assegurar o pegamento de flores (EMBRAPA, 2018).

Graças aos estudos que levaram a seleção de estirpes de rizóbios e cultivares eficientes, a soja plantada hoje no Brasil consegue suprir sua demanda de nitrogênio

exclusivamente do processo da FBN. Contudo, apesar de se mostrar eficiente para o feijoeiro, ainda não há pesquisas suficientes que garantem o total suprimento de N ao feijoeiro pelo processo de FBN, não sendo recomendada a total substituição do uso de fertilizantes nitrogenados pela inoculação (MENDES et al., 2010).

Embora a FBN supra boa parte da demanda de N pelas plantas de feijoeiro, este é caracterizado pela rápida senescência dos nódulos e, portanto, redução da FBN logo após o florescimento (EMBRAPA, 2018; URQUIAGA e ZAPATA, 2000). Diante disso, outra prática ainda não muito utilizada nas pesquisas acerca da FBN no feijoeiro, seria a reinoculação, reinoculação tardia ou inoculação suplementar. A prática consiste na realização da inoculação no ato da semeadura, diretamente na semente (inoculação via semente) juntamente com a aplicação de inoculante após a implantação da cultura (inoculação via cobertura), por meio da pulverização do produto direcionado ao solo, afim de promover a formação de novos nódulos e prolongar o período e a oferta de N durante todo o ciclo da cultura.

Souza (2016), observou que as inoculações suplementares em cobertura na cultura da soja, nos estádios vegetativos V1, V3, V6 e reprodutivo em R1, proporcionaram maior número de nódulos e maior produtividade de grãos na cultura. Outros estudos mostraram que a aplicação de inoculante na cultura da soja nos estádios próximos a R6 promoveram acréscimos dos nódulos no sistema radicular, aumentando o N fixado e a produtividade de grãos (MORETTI et al., 2018; HUNGRIA e MENDES, 2015). No feijoeiro, Corsini et al. (2017), trabalhando com reinoculação no feijão de inverno, constataram diferenças significativas para alguns parâmetros nodulares, onde os tratamentos com a presença da reinoculação com *Rhizobium tropici* apresentaram maiores valores quando comparados ao tratamento testemunha. Assim, o número limitado de estudos sobre a eficiência da reinoculação e a falta de conhecimento em condições de campo, traz a necessidade de investigações sobre o assunto.

Desta forma, este estudo teve como objetivo averiguar a capacidade de resposta do feijoeiro submetido a reinoculação de células rizobianas em cobertura, aplicado em diferentes estádios de crescimento das plantas, em condições de casa de vegetação e de campo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da cultura

A espécie *Phaseolus vulgaris* L. pertence a família Fabaceae e subfamília Papilionoidae, é originária das Américas e conhecida popularmente como feijão comum, se tratando de um dos alimentos mais antigos da humanidade e a principal leguminosa comestível no mundo (EVANGELISTA et al. 2015).

As cultivares de feijão comum estão inseridas em grupos comerciais, podendo ser resumidos em quatro: preto, cor, branco e misturado (BRASIL, 2008). Dentre eles, o grupo de cor é o mais significativo em termos de produção nacional, onde o feijão do tipo carioca lidera a posição com cerca de 70% (SILVA et al., 2014).

O feijão apresenta importância alimentar baseada principalmente em sua quantidade de proteínas, onde uma porção de 90 gramas de feijão pode fornecer até 8 gramas da mesma, representando até 15% da necessidade desse nutriente para um adulto, tornando-o fonte de proteína suficiente para suprir as necessidades humanas, além de apresentar um menor custo quando comparado as fontes de proteína de origem animal (PAREDES et al., 2009; BURATTO et al., 2009).

Além de ser conhecido por sua excelente fonte proteica, o feijão contém quantidades significativas de carboidratos, fibras, vitaminas do complexo B, cálcio, ferro e outros minerais, além de compostos fenólicos que podem reduzir a incidência de doenças, graças a sua ação antioxidante (BORÉM e CARNEIRO, 2008; MESQUITA et al., 2007; ABREU e BIAVA, 2005).

Sua importância vai além dos aspectos nutricionais, uma vez que possui grande relevância econômica e social, por se tratar de um alimento acessível, servindo como alimentação base à população mais carente, além de compor a renda para os mais diversos tipos de produtores e trabalhadores rurais, se destacando também no aspecto cultural, estando presente na culinária de diversos países (BARBOSA e GONZAGA, 2012).

A espécie é uma planta herbácea, autógama, dicotiledônea, com metabolismo C3 e sistema radicular pivotante considerado superficial, concentrado nos primeiros 25 cm do solo (FERNÁNDEZ et al., 1986; INFORZATO e MIYASAKA, 1963). Suporta temperaturas entre 15°C e 30°C, porém tem melhor desenvolvimento dentro da faixa de 20°C e 22°C, considerada ideal (VIEIRA et al., 2006). Suas necessidades hídricas, de maneira geral, variam entre 100 mm

por mês, onde a cultura demanda de uma maior quantidade de água nas fases reprodutivas e apresentando um ciclo médio de 90 dias, podendo variar, de acordo com a latitude, condições climáticas e variedade, entre 60 dias (superprecoce) e 115 dias (tardio) (DOURADO NETO e FANCELLI, 2000; GUIMARÃES, 1988).

Devido a ampla adaptação edafoclimática e seu ciclo curto, o feijoeiro é amplamente cultivado em clima temperado e subtropical e pode ser produzido em três safras anuais, conhecidas como safra das águas ou primeira safra (plantio de outubro a dezembro), safrinha ou segunda safra (plantio de janeiro a março) e safra de inverno ou terceira safra (plantio de maio a julho) (CONAB, 2019; CARVALHO, 2007). De acordo com a CONAB (2021), a maior produção esperada para o feijão total no ano agrícola 2020/2021 é referente a segunda safra, com estimativa de 39,97% da produção total, seguida da primeira safra, com 33,61% e terceira safra com estimativa de 26,40%.

A produção de feijão comum possibilita também diversos sistemas de produção, desde os mais simples aos mais tecnificados, passando do pequeno ao grande produtor rural, os quais variam desde a agricultura de subsistência aos mais altos patamares de produção, sendo que a agricultura familiar lidera a produção total de feijão, com cerca de 60% da produção nacional (SOUZA et al., 2017; SILVA e WANDER, 2013; CTSBF, 2012).

Sendo consumido por cerca de 77% da população brasileira com uma média de 15 kg ano⁻¹, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão comum, ficando atrás apenas de Myanmar e Índia, respectivamente. Juntos, os três países respondem por cerca de 57% de toda a produção mundial (FAOSTAT, 2020).

De acordo com a CONAB (2021), para a safra 2020/2021 de feijão cores total, as estimativas são de 1.202,5 mil hectares de área plantada, produtividade de 1.453 kg ha⁻¹ e uma produção de 1.747,5 mil toneladas. O que se espera é que os estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso liderem a produção de feijão cores total, podendo chegar, juntos, a 57,75% de toda produção nacional.

No entanto, quando se compara o feijoeiro aos demais grãos produzidos no Brasil, a média de produtividade ainda pode ser considerada baixa, uma vez que se encontram cultivares com capacidade produtiva superior a 3.000 kg ha⁻¹. Isso pode ser explicado pelo fato de que grande parte da sua produção origina da agricultura familiar, com baixo uso de insumos e tecnologias, ausência de materiais genéticos de elevado rendimento, além do cultivo em solos de baixa fertilidade, em especial o N (SANTOS e LIMA, 2015).

2.2 Fenologia do feijão

A fenologia, segundo Kluthcouski et al. (2009), é uma área que estuda os acontecimentos periódicos dos seres vivos e suas relações com o ambiente em que estão inseridos. Portanto, conhecer a fenologia de uma cultura é importante para se entender as necessidades nutricionais e auxiliar na tomada de decisões ao longo do ciclo de crescimento da mesma, uma vez que as plantas, nas suas diferentes fases fenológicas, apresentam diferentes exigências.

No feijoeiro, escala fenológica proposta por Gepts e Fernández (1982) é a mais comumente utilizada, afim de assegurar os manejos corretos a serem empregados ao longo do ciclo de cultivo em seus diferentes estádios de crescimento, principalmente quando lidamos com plantas de hábito de crescimento indeterminado, onde a diferenciação destes se torna mais difícil e podendo ocorrer de forma simultânea. A escala apresenta dez divisões fenológicas, divididas em fase vegetativa, com cinco estádios (V0, V1, V2, V3 e V4) e fase reprodutiva, com cinco estádios (R5, R6, R7, R8 e R9), diferentes entre si pela ocorrência de diferentes eventos morfológicos, bioquímicos e fisiológicos (SAAD e LIBARDI, 1997; FANCELLI, 1994).

O estágio vegetativo 0 (V0) é caracterizado pelo período de germinação, iniciando no dia da semeadura e finalizando quando os cotilédones atingem a superfície. A semeadura feita de forma correta é essencial para o sucesso dessa etapa, onde temperaturas entre 12°C e 25°C são ideais para garantia de uma boa taxa de germinação. Quando os cotilédones se tornam visíveis e começam a se separar, se inicia o estágio vegetativo 1, finalizando quando as primeiras folhas se abrem (EMBRAPA, 2018).

Já a fase vegetativa 2 (V2) se inicia quando as primeiras folhas se encontram totalmente abertas e termina com a abertura da primeira folha trifoliolada. Caso a semeadura tenha sido realizada com excesso de profundidade e as sementes utilizadas apresentarem baixo vigor, o resultado final poderá gerar folhas pequenas e mal formadas. Até essa fase, as necessidades nutricionais da planta são supridas pela própria semente e sua reserva (EMBRAPA, 2018; QUINTELA, 2001).

Quando surge a primeira folha composta (formada por três trifólios), se inicia o estágio vegetativo 3 (V3), finalizando quando a terceira folha trifoliolada se abre. Nesse período, há um crescimento radicular acelerado e a planta começa a depender do estoque

nutricional do solo, sendo caracterizada também por iniciar a formação de nódulos pelo processo de FBN. Os estádios V1, V2 e V3 apresentam maior tolerância ao estresse hídrico e variações de temperatura (EMBRAPA, 2018; QUINTELA, 2001).

Na fase vegetativa 4 (V4), a terceira folha trifoliolada se encontra totalmente aberta e plana, finalizando com o surgimento dos primeiros botões florais. Esse período pode variar de acordo com o hábito de crescimento e o ciclo da cultivar, podendo ser menor para as cultivares do tipo I e maior para as demais. Há uma maior sensibilidade quanto a disponibilidade de água, temperatura e luminosidade para assegurar uma maior área foliar e consequente produtividade. A partir desse período, os processos de absorção de nutrientes e crescimento da planta se aceleram e portanto todos os nutrientes devem estar disponíveis para serem absorvidos, com ênfase ao nitrogênio, uma vez que é o principal responsável pelo aumento da área foliar e pelo acúmulo de biomassa seca. Neste período, se inicia fixação de N pelo processo de FBN (EMBRAPA, 2018; QUINTELA, 2001).

No estágio seguinte se inicia a fase reprodutiva. Caracterizado como pré-floração, o estágio reprodutivo 5 (R5) começa quando se desenvolvem os primeiros ramos secundários e aparecem os primeiros botões florais. O desenvolvimento destes depende de fatores como fotoperíodo, temperatura, genótipo e oferta de água, sendo citada como uma das fases mais críticas a falta de água, podendo gerar perdas de até 37%, além do período de maior demanda de altas temperaturas para garantia do florescimento. Assim como o estágio anterior, o período de duração pode variar, podendo ser menor nas cultivares tipo I e II e maior nas cultivares tipo III e IV. Essa fase finaliza quando as flores se abrem (EMBRAPA, 2018; QUINTELA, 2001).

Em continuidade, o estágio R6 é caracterizado pela floração, iniciando quando 50% das flores se encontram abertas e finaliza com 100% de abertura. A depender do hábito de crescimento da cultivar, esse processo de abertura pode se iniciar de baixo para cima (tipos II, III e IV) ou de cima para baixo (tipo I). Em cultivares do tipo I, a emissão de folhas é cessada, já para cultivares dos tipos II e III, 16 a 20 folhas trifolioladas podem ser ainda fotossinteticamente ativas (EMBRAPA, 2018).

Nesses dois últimos estádios, a planta acelera seu acúmulo de nutrientes, sendo decisivo no pegamento de flores. De acordo com Ferreira et al. (2013) e Rosolem e Marubayashi (1994), é a época em que o feijoeiro demanda de maior quantidade de nitrogênio, podendo ter uma taxa de absorção de até 2,5 kg de N ha⁻¹ dia⁻¹. A partir desse período, a atividade de FBN começa a se reduzir. Dessa forma, a reinoculação poderá promover

manutenção desse processo, através da aplicação de uma nova população de bactérias fixadoras de N no solo.

A formação dos primeiros canivetes (vagens) define o estágio R7, terminando quando alcançam o comprimento máximo. Nessa fase, a principal atividade é voltada para a formação de vagens e, portanto, as atividades nas raízes são reduzidas. Caso o acúmulo de nutrientes até essa fase não tenha ocorrido de maneira satisfatória, a cultura poderá responder a aplicação de boro, nitrogênio, fósforo e potássio via foliar, podendo contribuir para o enchimento de vagens. Aqui, temperaturas acima de 35°C e escassez hídrica podem causar o abortamento e diminuição do tamanho de vagens (EMBRAPA, 2018; QUINTELA, 2001).

O próximo estágio (R8) é o período entre o enchimento de grãos e queda das folhas, sendo considerado ideal para a realização da dessecação, quando necessário. Nas cultivares de tipo II e III, a emissão de folhas é cessada. Há também a senescência de nódulos e, portanto, as atividades de FBN até o estágio R8 se encerram (EMBRAPA, 2018; QUINTELA, 2001).

As fases de floração, início da formação de vagens e enchimento de grãos são mais críticas para o feijoeiro quanto ao fornecimento de água, sendo sensível ao déficit nesses períodos. São também considerados períodos críticos em relação a oferta de nitrogênio, onde sua deficiência poderá refletir diretamente na área foliar, causando amarelecimento, atraso no desenvolvimento e consequente diminuição de atividade fotossintética, refletindo também na queda da formação de vagens e produtividade (PEREIRA et al. 2015; CASSINI e FRANCO, 2006; ALVAREZ et. al, 2005; ANDROELA, 1992).

O último estágio (R9) é definido como o período de maturação, em que as vagens começam a secar e as sementes apresentam as características específicas da cultivar, como a cor e o brilho. Nessa etapa final, a oferta de água deve ser cessada, se possível, afim de garantir uma boa qualidade dos grãos até o momento da colheita (EMBRAPA, 2018; QUINTELA, 2001).

2.3 Nitrogênio no feijoeiro

Por ser uma planta de ciclo curto e apresentar sistema radicular pequeno e pouco profundo, a busca por nutrientes no solo pelo feijoeiro é dificultada devido a sua menor área de contato para exploração, por isso, os nutrientes devem estar prontamente disponíveis às plantas em tempo e locais adequados (FONSECA, 2011).

Dentre as exigências nutricionais pela grande maioria das culturas, o nitrogênio é caracterizado como sendo o nutriente mais absorvido e mais exportado, não sendo diferente para o feijoeiro, onde é considerado um macronutriente essencial e um dos fatores limitantes da produção agrícola, assim como a água (FAGERIA et al., 2015; BUZETTI et al., 2015; SORATTO et al., 2013).

Nas plantas, esse nutriente contribui para um alto potencial produtivo, estimula o crescimento vegetativo, além de ser o responsável pelo crescimento da área foliar durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, refletindo diretamente na taxa fotossintética e consequente produção (CANTARELLA, 2007; FAGERIA e BALIGAR, 2005; FAGERIA et al., 2003). Além disso, está presente na composição de aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas, flavonoides e clorofila (GAUDINIER et al., 2018).

Sua carência é visualmente refletida nas folhas mais velhas, causando seu amarelecimento e, em casos mais graves, pode atingir toda a planta, resultando em desfolhamento e redução da área fotossintética, além da redução de flores e dormência de gemas laterais, causando um baixo nível de proteínas e clorofila, consequentemente alterando o conteúdo dos grãos produzidos (PRADO, 2008; COSTA e ZIMMERMANN, 1988).

As plantas podem absorvê-lo de duas formas: na forma de amônio (NH_4^+) ou na forma de nitrato (NO_3^-). Estas podem ser oferecidas de quatro maneiras: por meio decomposição de matéria orgânica no solo; por meio da fixação não biológica, como é o caso de descargas elétricas, combustão ou vulcanismo; por meio do processo industrial, que é o caso da utilização de fertilizantes nitrogenados; ou por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN) (HUNGRIA, et al., 2007; MARRENCO e LOPES, 2005).

O N no solo, oriundo da decomposição de matéria orgânica, é insuficiente para a demanda da maioria das culturas, graças aos processos que podem acelerar a decomposição em condições tropicais, como o aumento da temperatura e umidade, resultando em solos com

baixos teores de N. Já a fixação não biológica contribui minimamente para a recarga de N no solo, não ultrapassando 10% da entrada por ano (HUNGRIA et al., 2001).

O uso de fertilizantes nitrogenados, largamente empregado pelos produtores como fornecedores de N, muitas vezes implicam em baixa eficiência no feijoeiro, que normalmente não ultrapassa 50%, conseqüentemente demandando de maiores aplicações e elevando seu custo. Perdas por lixiviação (por percolação ou escoamento superficial), desnitrificação e volatilização podem ocorrer com seu uso, causando ainda danos ecológicos (GAUDINIER et al., 2018).

Isso acontece porque o N no solo, quando em forma de nitrato, não estabelecendo relação com os demais minerais presentes no solo, pode percolar para camadas mais profundas das quais as raízes não conseguem alcançar, ou ainda ocorrer o escoamento desse nutriente pela superfície do solo. Além disso, perdas de N para a atmosfera em forma gasosa podem ocorrer, tanto pela desnitrificação, quando os microorganismos do solo fazem a redução em N_2 e N_2O , quanto pela volatilização, na forma de NH_3 (CANTARELLA, 2007; HUNGRIA et al., 2007).

Nesse contexto, a FBN surge como uma alternativa sustentável e viável de fornecimento de N às plantas fabáceas, como é o caso do feijoeiro. Isso ocorre devido a propriedade, de algumas bactérias simbióticas, de fixação de N presente na atmosfera, fornecendo-o às plantas em uma forma prontamente assimilável pelas mesmas. É considerado, após a fotossíntese, o processo biológico mais importante para a manutenção na vida na Terra, como a principal fonte de fornecimento de N à biosfera, contribuindo com cerca de 65% da oferta anual de N (REIS JUNIOR et al., 2011; HUNGRIA et al., 2001).

Sob condições adequadas, esse processo pode contribuir com a maior parte da demanda desse nutriente ao feijoeiro, podendo alcançar patamares de produção que superem 3.000 kg ha^{-1} e dessa forma reduzindo o uso de fertilizantes nitrogenados, conseqüentemente diminuindo o custo de produção e contribuindo para uma agricultura mais sustentável (FERREIRA et al., 2013; HUNGRIA et al., 2000).

2.4 Resposta do feijão à FBN

A atmosfera terrestre é composta por cerca de 78% de N na forma de N₂, onde suas moléculas são unidas por uma ligação tripla e de difícil rompimento. O processo de fixação biológica de nitrogênio é basicamente um processo no qual alguns gêneros de bactérias conseguem capturar esse nitrogênio presente na atmosfera e convertê-lo em uma forma que as plantas conseguem assimilar (REIS JUNIOR et al., 2011).

Surgiu na década de 80, inicialmente concentrada em pesquisas para a cultura da soja e desde então vêm se tornando uma alternativa viável economicamente e ambientalmente para a produção de grãos das mais diversas fabáceas (EMBRAPA, 2020). Em 2010, a FBN foi um dos pilares do plano ABC – Agricultura de Baixa emissão de Carbono, proposto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), afim de reduzir a emissão dos gases do efeito estufa, pelo incentivo de práticas sustentáveis na agricultura.

A fixação biológica de nitrogênio ocorre quase que exclusivamente em plantas fabáceas por meio de uma relação simbiótica. Se tratando de uma relação de associação entre duas espécies, em que ambas se beneficiam, a simbiose pode ocorrer de forma facultativa, onde o indivíduo poderia sobreviver sem ela, ou na forma obrigatória, na qual o indivíduo depende dessa relação para a sua sobrevivência (SILVA JUNIOR e SASSON, 2005; PRIMAVESI, 1999).

Dentre os processos simbióticos, o de rizóbio-fabacea é o mais importante na relação microorganismo-planta, podendo ocorrer naturalmente ou por meio da utilização de inoculantes. De forma natural, o processo simbiótico pode ocorrer com as bactérias já presentes no solo, chamadas de bactérias nativas, ou de forma introduzida, quando se utiliza um produto comercial com estirpes selecionadas, reconhecendo e infectando as raízes das plantas hospedeiras (HUNGRIA e STACEY, 1997). O uso de inoculantes é comumente utilizado pelos produtores, com aplicação direta nas sementes antes do processo de semeadura, ou ainda nos sulcos de plantio.

As bactérias simbióticas mais conhecidas e estudadas pertencem aos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Sinorhizobium* e *Mesorhizobium*, também comumente chamadas de rizóbios, sendo capazes de formar estruturas especializadas conhecidas como nódulos, onde ocorre a fixação de N₂ (TAIZ e ZIEGER, 2004).

No feijoeiro, bactérias da família Rhizobiacea são as mais utilizadas para a inoculação, com ênfase à espécie *Rhizobium tropici*, por apresentar maior estabilidade genética e maior tolerância a temperaturas altas e acidez do solo, tolerando pH abaixo de 5,5 e temperaturas de até de 40°C, além de apresentarem alta capacidade competitiva, podendo contribuir, em média, com até 40% do nitrogênio adquirido (RABELO et al., 2017). Comercialmente, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) recomenda três estirpes de *Rhizobium tropici* para a produção de inoculantes para o feijoeiro comum: SEMIA 4088 (=H 12), SEMIA 4077 (=CIAT 899) e SEMIA 4080 (=PRF 81) (BRASIL, 2011).

Todo o processo é dividido em várias etapas, que vão desde a multiplicação do rizóbio no solo e próximo as raízes da planta, até a assimilação de N fixada. Inicialmente, quando em contato com o feijoeiro, a bactéria consegue infectar uma célula da raiz, formando suas estruturas hospedeiras, os nódulos. Dentro destes, a bactéria consegue se alimentar de carboidratos resultantes da fotossíntese, se multiplicando e formando colônias maiores. Em troca, a bactéria fornece à planta o N de forma assimilável pela mesma. Isso ocorre por meio da enzima nitrogenase, que realiza a quebra da tripla ligação de N₂ e redução em amônia (NH₃), havendo incorporação do H⁺ transformando-se em amônio (NH₄⁺), onde então o nitrogênio é assimilado pela planta, completando o ciclo da relação simbiótica (GUIMARÃES et al., 2017).

O sucesso da FBN depende de diversos fatores bióticos e abióticos, como a eficiência da cultivar, as estirpes que serão utilizadas na inoculação e de fatores ambientais os quais estão inseridos (BARBOSA e GONZAGA, 2012). No feijoeiro, sinais de beneficiamento das plantas pelo processo de FBN começam a se tornar visíveis a partir do 15º dia após a germinação, onde os maiores períodos de beneficiamento da cultura por este processo foram observados entre as fases vegetativa e de floração e entre as fases de formação de vagens e enchimento de grãos (MERCANTE et al., 1992).

Pesquisas acerca da FBN na cultura da soja ao longo dos anos levaram a seleção de estirpes de rizóbios e cultivares eficientes, fazendo com que a cultura hoje no Brasil consiga suprir sua demanda de nitrogênio exclusivamente do processo da FBN. Contudo, apesar da FBN se mostrar eficiente para o feijoeiro, conforme constatado em estudos relativamente recentes (OLIVEIRA et al., 2017; PARIZOTTO e MARCHIORO, 2015; BARROS et al., 2013), em que a FBN promoveu a substituição total da adubação nitrogenada, ainda não há consenso sobre o uso da técnica de forma exclusiva no fornecimento de N para a cultura do feijão quando se visa a obtenção patamares de produtividade superiores a 1.500 kg ha⁻¹, conforme consta nas tabelas de recomendação de adubação comumente usadas nas regiões

Centro-Oeste e Sudeste (CHAGAS et al., 1999; SOUSA e LOBATO, 2004; WUTKE et al. 2014) e que aliás estão desatualizadas.

Outra técnica, ainda não muito utilizada nas culturas agrícolas responsivas a FBN, seria a reinoculação, reinoculação tardia ou inoculação suplementar de células rizobianas em cobertura. A prática consiste na realização da inoculação no ato da semeadura, diretamente na semente (inoculação via semente) juntamente com a aplicação de inoculante após a implantação da cultura (inoculação em cobertura), nas proximidades do sistema radicular da planta.

Em um estudo realizado com a cultura da soja, Moretti et al. (2018) observaram que a pulverização adicional de *Bradyrhizobium* em cobertura, até o estágio de crescimento R6, promoveu um incremento no número de nódulos, gerando uma maior fixação de N₂ e rendimento de grãos. Pesquisas acerca da prática de reinoculação para a cultura do feijoeiro ainda são escassas até o presente ano. Sousa (2020) observou em seu trabalho que a inoculação via semente, aliada com a inoculação suplementar via cobertura no estágio V4, pode substituir o uso de uréia com 20 e 40 kg ha⁻¹ na base e em cobertura, respectivamente, sem redução de produtividade na cultura do feijão comum, em experimento realizado em Goiás. De forma semelhante, Garé (2020) observou que a reinoculação com *R.tropici* no estágio V4 gerou um incremento na produtividade de grãos da cv. IPR Campos Gerais, em experimento realizado em 2019 sob sistema de plantio direto, no Mato Grosso do Sul. Teixeira et al. (2022) verificaram que a aplicação do inoculante em cobertura aumentou a taxa de nodulação e a biomassa seca de feijão da cv. BRS Cometa, em que a dose de 257 mL ha⁻¹ do inoculante líquido aplicado no estágio V4, em complementação a inoculação via semente, proporcionou maior produtividade de feijão, sem a necessidade de suplementação de nitrogênio mineral.

Como o Brasil importa cerca de 75% das fontes de N usadas na agricultura, sendo mais de 20 milhões de toneladas de uréia por ano, a economia com o uso de microrganismos chega até US\$8 bilhões anuais (SANTANA et al., 2018). Diante do aspecto econômico e a crescente preocupação com impactos causados pelo uso desordenado de produtos químicos no meio ambiente, principalmente pelo uso de fertilizantes nitrogenados, busca-se métodos que visem a diminuição e até mesmo substituição desses produtos, a exemplo da FBN em feijão, garantindo acréscimo de produtividade e promovendo a sustentabilidade ambiental e econômica. Nesse cenário, afim de contribuir às pesquisas acerca da FBN no feijoeiro, e atendendo aos princípios da inovação, visando a sustentabilidade, é oportuno investigar se a inoculação via semente, somada a reinoculação em diferentes fases de crescimento do feijoeiro, poderia substituir parcialmente ou totalmente o uso da adubação nitrogenada.

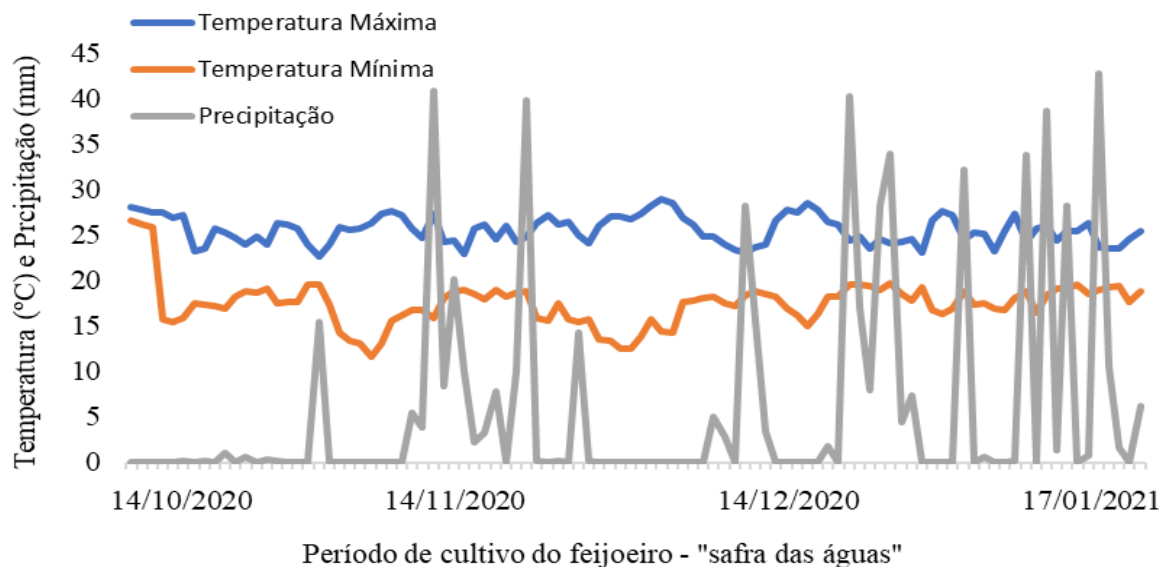
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Informações Gerais

Foram conduzidos dois experimentos, um em casa de vegetação (Experimento I) e o outro a campo (Experimento II), em março de 2020 e safra das águas no ano agrícola 2020/2021, respectivamente, ambos na área experimental da Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária - EMATER, situada no município de Anápolis-GO, cuja localização geográfica é: latitude 16°20'12.13" Sul e longitude 48°53'15.96" Oeste e altitude média de 1058 m (GOOGLE EARTH, 2021).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw tropical úmido, com estação seca no período outono-inverno (maio-outubro) e chuvas no período primavera-verão (novembro-abril), com temperatura média anual de 22°C e precipitação anual média de 1200 mm (GOIÁS, 2021). Os dados climáticos prevalentes durante a condução do experimento de campo são mostrados abaixo (Figura 1).

Figura 1 - Dados meteorológicos durante a condução do experimento na safra das águas 2020/2021. Anápolis/GO, INMET.



Fonte: próprio autor.

O solo utilizado para o Experimento I – casa de vegetação foi retirado da mesma área onde foi realizado o Experimento II – campo. A análise de solo foi realizada na camada 0-20 cm e os resultados apresentados abaixo na Tabela 1. O solo da área é classificado como

Latossolo Vermelho Distrófico. As análises granulométricas mostraram ser de textura argilo arenosa.

Tabela 1 - Características químicas e físicas do solo, coletado na camada 0-20 cm, na área da Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária (EMATER). Anápolis/GO, 2020¹.

| Características químicas | | |
|----------------------------------|----------------------|------------|
| Variáveis | Unidades | Resultados |
| Cálcio (Ca) | cmol/dm ³ | 1,4 |
| Magnésio (Mg) | cmol/dm ³ | 0,55 |
| Alumínio (Al) | cmol/dm ³ | 0,15 |
| Acidez Potencial (H + Al) | cmol/dm ³ | 2,35 |
| Potássio (K) | cmol/dm ³ | 0,21 |
| Potássio (K) | mg/dm ³ | 82,55 |
| P (Melich) | mg/dm ³ | 4,15 |
| Enxofre (S) | mg/dm ³ | 1,6 |
| Sódio (Na) | mg/dm ³ | 2,45 |
| Zinco (Zn) | mg/dm ³ | 6,25 |
| Boro (B) | mg/dm ³ | 0,21 |
| Cobre (Cu) | mg/dm ³ | 2,8 |
| Ferro (Fe) | mg/dm ³ | 33,8 |
| Manganês (Mn) | mg/dm ³ | 17,6 |
| CTC pH 7,0 | - | 4,52 |
| Saturação em Bases (Sat. Bases) | % | 47,71 |
| Saturação por Alumínio (Sat. Al) | % | 6,94 |
| Matéria Orgânica (M.O.) | g/dm ³ | 20,5 |
| Carbono | g/dm ³ | 11,89 |
| pH (CaCl ₂) | - | 4,8 |
| Características físicas | | |
| Variáveis | Unidades | Resultados |
| Areia | g/kg | 415 |
| Silte | g/kg | 105 |
| Argila | g/kg | 480 |

¹Análise realizada no Solocria Laboratório Agropecuário Ltda, Goiânia – GO.

De acordo com resultados da análise de solo expressos na tabela acima, realizou-se, a calagem usando calcário filler (PRNT 100%) na recomendação de 1,5 ton ha⁻¹ de calcário, objetivando atingir saturação por bases de 70%, aguardando dois meses para reação do corretivo no solo. Posteriormente uma quantidade de solo suficiente foi retirado da área na camada de 0-20 cm para implantação do experimento de casa de vegetação.

3.2 Descrição dos delineamentos e tratamentos

O Experimento I - casa de vegetação foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e o Experimento II - campo foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), ambos com dez tratamentos e quatro repetições, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Tratamentos aplicados em ambos os experimentos.

| Tratamentos | Denominação |
|-------------|--|
| T1 | controle não inoculado |
| T2 | inoculação via semente (VS) |
| T3 | VS + reinoculação no estádio V4 |
| T4 | VS + reinoculação no estádio R5 |
| T5 | VS + reinoculação no estádio R6 |
| T6 | VS + reinoculação nos estádios V4 e R5 |
| T7 | VS + reinoculação nos estádios V4 e R6 |
| T8 | VS + reinoculação nos estádios R5 e R6 |
| T9 | VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6 |
| T10 | Adubação mineral nitrogenada |

Fonte: próprio autor.

Para a inoculação via semente, utilizou-se a dose de 150 mL para 50 kg de semente e para a reinoculação empregou-se a dose de 150 mL por hectare, conforme recomendações do fabricante. Os tratamentos que receberam a reinoculação em mais de um estádio de crescimento do feijoeiro, receberam a dose total fracionada nos respectivos estádios, em ambos os experimentos. O inoculante utilizado foi o BIOMAX premium líquido (inoculante para feijão), a base de *Rhizobium tropici* (SEMIA 4077 e SEMIA 4088) com garantia de 2×10^9 ufc mL⁻¹.

As sementes utilizadas nos dois experimentos pertencem a cultivar BRS FC402, caracterizada pela alta produtividade e qualidade de grão, ciclo normal, arquitetura semiereta, com hábito de crescimento indeterminado (Tipo II), resistente a mosaico comum e ferrugem e resistência moderada a antracnose, se tratando de um feijão comum do grupo carioca (EMBRAPA, 2021).

3.3 Experimento I - casa de Vegetação

O solo utilizado para o Experimento I – casa de vegetação foi retirado da mesma área onde foi realizado o Experimento II – campo. Após coletado, o solo foi submetido a secagem ao ar, destorroado e peneirado em malhas de 5 mm. A adubação de base nos tratamentos que receberam aplicação de células rizobianas foi realizada posteriormente, com o emprego de 400 mg de P, usado como fonte o superfosfato simples (18% de P_2O_5) e 100 mg de K na forma de cloreto de potássio (60% de K_2O), sem a adição de N. Já o tratamento com adubo mineral recebeu 16 mg de N, 400 mg de P_2O_5 e 100 mg de K_2O na base, tendo como fonte a uréia super simples e cloreto de potássio, além de 50 mg de N no estágio V3, como cobertura, tendo a uréia como fonte.

Posteriormente, o solo foi homogeneizado e colocado em vasos de cinco quilos. As sementes (exceto do T1 e T10) foram inoculadas e imediatamente feita a semeadura de cinco sementes por vaso. Na ocasião do estágio V1 procedeu-se o desbaste das plântulas, deixando duas plantas por vaso.

Utilizou-se o pulverizador manual Pet Nobre com capacidade de 500 mL para a reinoculação, conforme produto, dose e volume de calda especificados anteriormente. A pulverização foi realizada sempre no final da tarde, visando melhor eficiência da inoculação, direcionando o jato para o sistema radicular das plantas (FUKAMI et al., 2016).

Foram feitas irrigações conforme necessidade hídrica da cultura, sendo monitorada pela pesagem dos vasos, visando manter a umidade controlada, buscando 60% do volume total de poros, mantida durante o período experimental pela reposição de água destilada. Os tratamentos culturais empregados referentes ao controle de plantas daninhas e doenças envolveram o arranquio manual e a realização de pulverizações com Cercobin na dose de 700 g ha^{-1} , visando controlar a antracnose e mancha angular após o florescimento.

Foram avaliadas características morfológicas e nodulares das plantas. As análises foram realizadas no estágio R7 (formação de vagens), sendo amostradas as duas plantas do vaso, com presença da parte aérea e da raiz. O sistema radicular foi lavado em água corrente para retirada do solo e parte aérea quando se fez necessário. Em seguida, as plantas foram seccionadas na região do colo visando fazer as avaliações da parte aérea e do sistema radicular, de forma individualizada, em laboratório localizado na área experimental da Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária – EMATER.

3.3.1 Análises nodulares

3.3.1.1 Nódulos Totais (NT)

Após separação e lavagem das raízes, retirou-se todos os nódulos encontrados. Porém, só foram contabilizados os nódulos com 2mm ou mais de diâmetro. O resultado foi expresso em unidades por planta.

3.3.1.2 Massa seca dos nódulos (MSN)

Após determinação de nódulos totais, estes foram acondicionados em sacos de papel kraft e levados à estufa com circulação forçada de ar, a $\pm 70^{\circ}\text{C}$, por um período de 48 horas, pesando-os posteriormente em balança de precisão (0,01 g) para obtenção da massa seca até atingir peso constante, e os resultados expressos em gramas.

3.3.2 Análises morfológicas

3.3.2.1 Comprimento da raiz principal (CRP)

Com auxílio de uma fita métrica, mediu-se o comprimento da raiz principal das plantas, sendo os resultados expressos em cm.

3.3.2.2 Massa seca da parte aérea (MSPA) e Massa seca da raiz (MSR)

Para se obter a massa seca, os órgãos das plantas foram separados em: raiz e parte aérea, as amostras foram colocadas em sacos de papel kraft, e então levadas a estufa a $\pm 70^{\circ}\text{C}$ por um período de 48 horas, pesando-as posteriormente em balança de precisão (0,01g) para obtenção da massa seca dos órgãos da plantas separados, sendo os resultados expressos em gramas por planta (BORGES et al., 2011).

3.3.2.3 Altura de planta (AP)

Com auxílio de uma fita métrica, mediu-se a distância entre o colo das plantas e a extremidade apical da haste principal das plantas, sendo os resultados expressos em cm.

3.3.2.4 Teor de Nitrogênio foliar (TN)

Após secagem das folhas em estufa a +/- 72°C por um período de 48 horas, foram pesadas amostras de aproximadamente 0,50 g e homogeneizadas em 2,5 g de mistura catalítica (sulfato de potássio e sulfato de cobre) e 7,0 mL de ácido sulfúrico procedendo a digestão a uma temperatura de 450°C, sendo mantido nesta condição até o líquido ficar transparente. Após este procedimento, com a amostra fria (temperatura ambiente), o tubo de Kjeldahl foi adaptado ao destilador e adicionados solução de hidróxido de sódio a 50%, procedendo a destilação até um volume final de amostra de 150 mL. Foi acoplado ao destilador um Erlenmeyer (receptor do destilado) com 20,0 mL de solução de ácido bórico a 4% e 5 gotas de indicador misto (0,132 g de vermelho de metila e 0,06 g de verde de bromo cresol). Após, a amostra foi titulada com solução de H₂SO₄ a 0,01 mol L⁻¹, até o ponto de viragem detectado visualmente. Os resultados foram calculados pela equação 2, e expresso em gramas (CARMO ET AL., 2000).

$$N = \frac{V * a * 0,0014}{m}$$

Em que: N = Concentração de nitrogênio disponível em g; v = Volume da solução de ácido sulfúrico 0,01 mol L⁻¹ gasto na titulação após correção do branco (mL); a = Fator de correção da solução de ácido sulfúrico 0,1 mol L⁻¹; 0,0014 = Miliequivalente em grama de nitrogênio e m = Massa da amostra em gramas.

3.4 Experimento II – campo

A área experimental foi constituída de parcelas de seis linhas de 5 m de comprimento cada, com espaçamento entre linhas de 0,5 m. Em cada parcela experimental, tomou-se como área útil as quatro linhas centrais. Destas, as duas centrais (3 e 4) foram destinadas para análises de produtividade, enquanto as demais linhas (2 e 5) foram empregadas para análises destrutivas.

O solo foi submetido a calagem, visando atingir 70% de saturação de base, conforme descrito anteriormente. Após período de reação do corretivo (dois meses), foi feito o preparo de solo de forma convencional, com uma aração e duas gradagens. Em seguida, realizou-se a adubação de base nos tratamentos 1 ao 9, com o emprego de 400 kg ha⁻¹ do adubo formulado 00-20-20. O tratamento 10, com adubação mineral, recebeu o adubo formulado 05-25-20 e em cobertura 50 kg ha⁻¹ de N no estágio V3, usando uréia como fonte. Foi empregado a mesma cultivar de feijão empregada na casa de vegetação, na densidade de 12 plantas por metro linear. As sementes (exceto tratamento 1 e 10) foram inoculadas e semeadas imediatamente no solo.

A reinoculação foi realizada com o auxílio do pulverizador costal manual TERRA com capacidade de 20 L, direcionado ao solo e na base das plantas, realizada sempre no final da tarde, visando melhor eficiência da inoculação (FUKAMI et al., 2016). O inoculante foi diluído em água para entregar um volume final de 150 L ha⁻¹.

Os tratos culturais foram os comumente aplicados à cultura do feijoeiro, através do monitoramento da cultura, utilizando pulverizador tratorizado e produtos recomendados, os quais incluíram o controle de plantas daninhas, através da associação do método químico (Flex na dosagem de 0,9 L ha⁻¹) e de capinas manuais durante o estágio V3 da cultura, controle de pragas, como lagarta elasmó e vaquinha, nos primeiros estádios da cultura (Actara na dose de 150 g ha⁻¹) e doenças, como antracnose e mancha angular, a partir do florescimento (Cercobin na dose de 700 g ha⁻¹). Utilizou-se, para fins de colheita, o dessecante Reglone na dose de 2 L ha⁻¹. Não foi empregado irrigação no experimento

No estágio R7 foram avaliadas as características nodulares e morfológicas por meio de análises destrutivas, sendo amostradas cinco plantas com auxílio de uma pá reta, coletando bloco de solo com a planta na profundidade de 25 cm, visando recuperar o máximo de sistema radicular das plantas. As análises nodulares realizadas no Experimento II – campo, foram as mesmas citadas na seção 3.3.1 deste trabalho e a mesma metodologia empregada. Em relação

as análises morfológicas, realizou-se as análises citadas na seção 3.3.2 deste trabalho e a mesma metodologia empregada, além das seguintes análises:

3.4.1 Diâmetro do caule (DC)

Com auxílio de paquímetro foi medido o diâmetro do caule a 1 cm acima do nível do solo e a medida foi dada em mm.

3.4.2 Índice de área foliar (IAF)

A área foliar foi determinada por um medidor portátil, modelo CI-202 Portable Leaf Area Meter, da marca CID Bio-Science.

3.4.3 Análises agronômicas

Foram realizadas no estágio R9 (maturação), quando as plantas estavam apresentando queda das folhas e vagens com coloração amarelo-palha. Os componentes foram avaliados com base nos dados de 10 plantas coletadas na área útil central de cada unidade experimental. Já o rendimento foi obtido com coleta do restante das plantas da área útil das linhas centrais, quando os grãos apresentavam 13% b.s. A seguir é apresentada a metodologia empregada nas análises:

3.4.3.1 Número de vagens por planta (NVP)

Média obtida com base no número de vagens obtido das dez plantas. O resultado expresso em unidades por planta.

3.4.3.2 Número de grãos por vagem (NGV)

Média obtida com base no número de grãos obtidos no total de vagens das dez plantas. O resultado expresso em unidades por planta.

3.4.3.3 Peso de cem grãos (PCG)

Obtido utilizando amostras aleatórias de 100 grãos das dez plantas coletadas na área útil. O resultado expresso em gramas.

3.4.3.4 Produtividade de grãos (PROD)

Calculada pela massa dos grãos provenientes de todas as plantas coletadas na área útil, pesando-as em balança de precisão de 0,01 g, o resultado extrapolado para kg ha^{-1} e teor de água corrigido para 13%.

3.4.3.5 Estande final (EF)

Contou-se todas as plantas da área útil de cada parcela.

3.5 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e quando significativos, foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey. A análise estatística foi obtida utilizando-se o Software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I - Casa de vegetação

4.1.1 Análises Nodulares

Pelos resultados na Análise de Variância, pode-se averiguar que as variáveis NT e MSN foram influenciadas pelos tratamentos testados (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: nódulos totais (NT) e massa seca de nódulos (MSN). Experimento I – casa de vegetação.

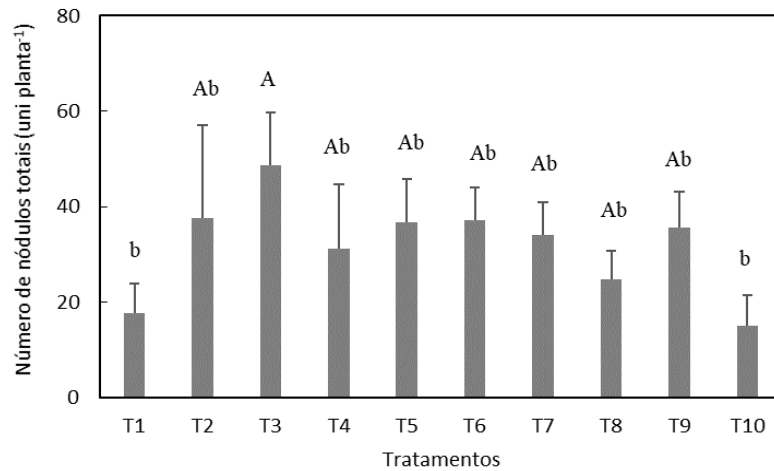
| Causas de variação | G.L | Quadrado Médio | |
|--------------------|-----|----------------|--------|
| | | NT | MSN |
| Tratamento (T) | 9 | 280,77* | 0,007* |
| Resíduo | 30 | 104,08 | 0,002 |
| C.V (%) | | 29,7 | 38,2 |

G.L. Graus de Liberdade; C.V.: coeficiente de variação; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; **Significativo a 1% pelo teste de F; ^{ns} Não Significativo.

Notou-se ainda, nas duas avaliações, coeficientes de variação (C.V) elevados, quando comparado a precisão experimental de estudos agrícolas de acordo por Pimentel-Gomes (1990), que propôs uma classificação da seguinte forma: baixo, quando inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, quando entre 20 e 30%; e muito alto, quando são superiores a 30%. Todavia, esta baixa precisão experimental em estudos envolvendo estas variáveis é considerada normal, visto que dificilmente se consegue recuperar todo o sistema radicular das plantas avaliadas. Apesar disso, foi possível detectar diferença significativa dos tratamentos sobre a características de nodulação do feijoeiro.

A maior quantidade de NT, com 2 mm ou mais de diâmetro, presentes no sistema radicular do feijoeiro, foi encontrada no tratamento que recebeu inoculação via semente + reinoculação no estágio V4 (T3), não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos que receberam inoculação na semente e reinoculação (Figura 2).

Figura 2 - Valores médios do nódulos totais (NT). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



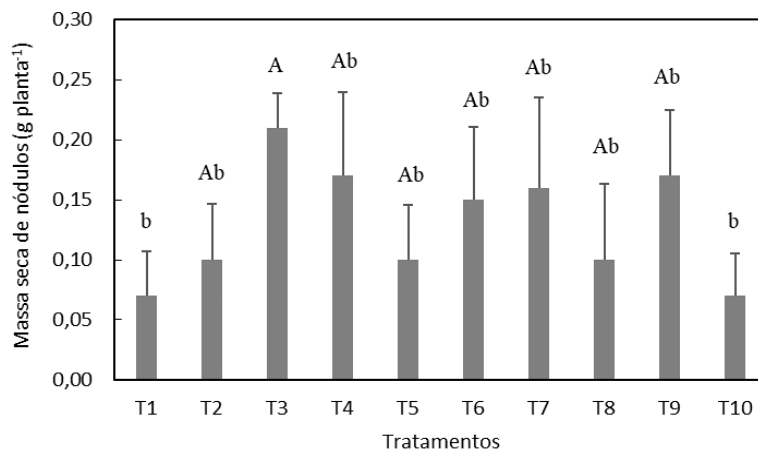
Destaca-se que o tratamento T3 proporcionou um incremento de cerca de 174,6% na formação de novos nódulos, quando comparado ao tratamento controle. Este acréscimo no número de nódulos no feijoeiro está acima aos obtidos por Sousa (2020), que em análises nodulares realizadas em R6 para o feijão BRS Valente e BRS Pitanga, verificou um acréscimo de 111% em tratamento utilizando inoculação via semente + inoculação em cobertura no estádio V4.

Os menores valores médios para a análise de NT foram encontrados no tratamento testemunha (T1), que não recebeu inoculação e adubação mineral, com média de 17,8 uni planta⁻¹, seguindo do tratamento com adubação mineral nitrogenada (T10), com valor próximo. Estes resultados podem ser atribuídos a presença de estirpes nativas no solo, capazes de fixar N₂ simbioticamente, mas que não superam aos valores encontrados para os tratamentos que receberam inoculação com estirpes selecionadas nas sementes e em reinoculação, os quais são mais eficientes, destacando-se o uso do produto biológico como um método eficiente na formação e incremento de nódulos (VALADÃO et al., 2009).

Ramires et al. (2018) ao trabalharem com *R. tropici* em feijão e diferentes doses de adubação em cobertura e semeadura, encontraram nódulos em plantas de feijoeiro quando receberam inoculação e também nos tratamentos não inoculados, indicando a presença de rizóbios nativos no solo, corroborando em partes com os dados expressos neste trabalho.

As maiores médias para análise de MSN foram observadas para o T3, que recebeu inoculação via semente + reinoculação em V4, com média de 0,21 g planta⁻¹, sendo que este e os demais tratamentos que envolveram o uso de inoculante, diferiram estatisticamente somente dos tratamentos testemunha (T1) e tratamento que recebeu adubação mineral nitrogenado (T10) (Figura 3).

Figura 3 - Valores médios da massa seca de nódulos (MSN). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



A variedade BRS FC402, se tratando de uma cultivar de hábito indeterminado, possui um maior período de crescimento vegetativo quando comparadas aquelas de hábito determinado, tendo, portanto, um maior tempo para o processo de infecção e formação de nódulos, que constituem as primeiras etapas do processo de FBN, o que pode justificar a maior capacidade de formação de nódulos para o tratamento T3 em relação aos demais tratamentos que receberam reinoculação em diferentes estádios de crescimento. Apesar dos tratamentos 6, 7 e 9 também terem recebido a inoculação ainda no estágio vegetativo, vale ressaltar que a dose aplicada nestes estádios foi inferior ao T3, uma vez que foi fracionada entre os demais estádios que receberam a reinoculação.

As variáveis NT e MSN devem ser avaliados em conjunto, uma vez que grandes quantidades de nódulos não significam a sua total viabilidade, onde se observou uma grande variação entre a quantidade de nódulos totais e sua massa seca, não sendo diretamente proporcionais, enfatizando portanto o fato de que a quantidade de nódulos encontrados não

remete a total eficiência do processo simbiótico, sendo que nódulos pequenos não fixam grandes quantidades de N (HANSEN et al., 1993).

Ademais, destaca-se que é possível considerar que, neste estudo, os tratamentos apresentaram nodulação considerada adequada, onde valores acima de 20 uni planta⁻¹ e massa seca superior a 100 mg são considerados satisfatórios para uma boa eficiência da FBN, conforme relatado por Straliozzo (2002) e Silva Neto et al. (2013).

4.1.2 Análises Morfológicas

De acordo com o resultado da Análise de Variância (Tabela 4), pode-se observar que as variáveis CRP, MSR, AP e MSPA foram influenciadas pelos tratamentos estudados. Não se observou diferença significativa dos tratamentos sobre o TN, corroborando aos resultados de Pelegrin et al. (2009) trabalhando com feijão inoculado, onde também não observaram diferença significativa para essa característica.

Tabela 4 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: comprimento da raiz principal (CRP), massa seca da raiz (MSR), altura de planta (AP), massa seca da parte aérea (MSPA) e teor de nitrogênio (TN). Experimento I – casa de vegetação.

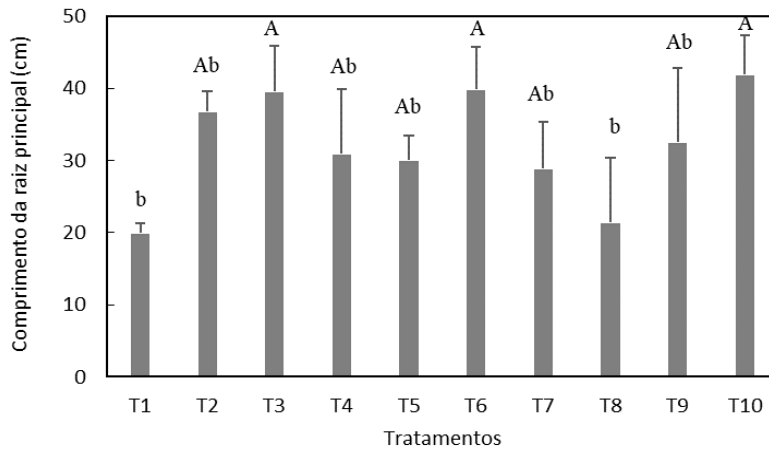
| Causas de variação | G.L | Quadrado Médio | | | | |
|--------------------|-----|----------------|--------|---------------|--------|----------------------|
| | | CRP | MSR | AP | MSPA | TN |
| Tratamento (T) | 9 | 227,33** | 0,255* | 473783298,4** | 3,26** | 0,1163 ^{ns} |
| Resíduo | 30 | 42,83 | 0,101 | 108794381,6 | 0,48 | 0,081 |
| C.V (%) | | 19,3 | 35,1 | 33,8 | 26,5 | 10,9 |

G.L. Graus de Liberdade; C.V.: coeficiente de variação; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; **Significativo a 1% pelo teste de F; ^{ns} Não Significativo.

Em geral, pode-se verificar baixa precisão experimental nas variáveis MSR, AP e MSPA, visto que os C.Vs apresentaram valores superiores a 20% (PIMENTEL-GOMES, 1990). Todavia, foi possível averiguar influência dos tratamentos sobre as variáveis analisadas. As demais variáveis analisadas (CRP e TN) apresentaram precisão satisfatória na obtenção dos dados.

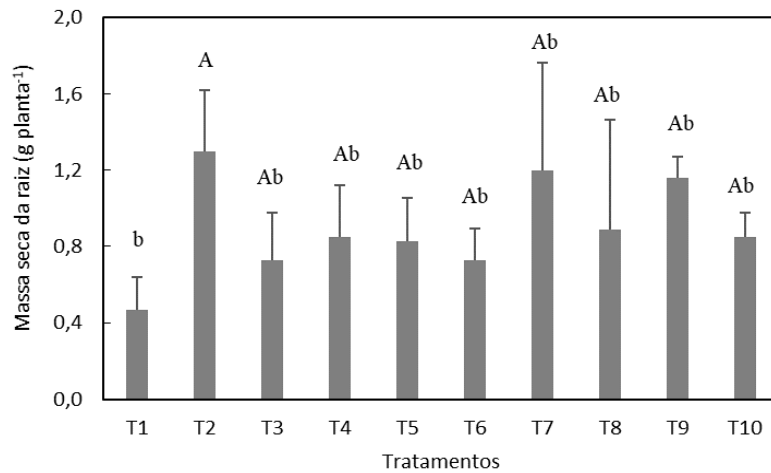
Para a análise de CRP (Figura 4), as maiores médias encontradas foram para o T10, que recebeu formulado mineral nitrogenada na base e em cobertura, com valor médio de 41,9 cm, seguido pelos tratamentos 6 e 3, com 39,88 e 39,62 cm, respectivamente, contudo, diferindo estatisticamente somente dos T1 e T8.

Figura 4 - Valores médios comprimento da raiz principal (CRP). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



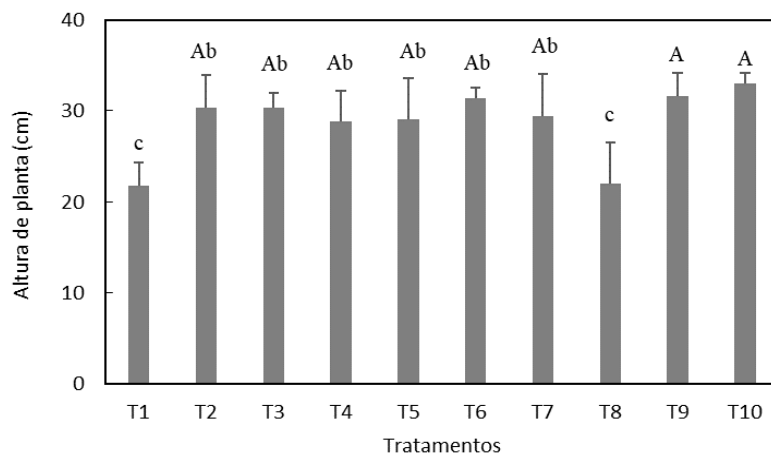
A maior média encontrada para MSR (Figura 5) foi para o T2, que recebeu inoculação via semente, com média de $1,30 \text{ g planta}^{-1}$, diferindo somente do T1, que não recebeu qualquer tipo de fertilização, no qual foi obtido a menor média para este parâmetro, com $0,47 \text{ g planta}^{-1}$. Os demais tratamentos não apresentaram diferenças entre si, com valores médios variando entre $0,73$ e $1,20 \text{ g planta}^{-1}$. A ausência de N na fertilização no T1 justifica o limitado crescimento e acúmulo de biomassa no sistema radicular do feijoeiro, comparado os tratamentos que receberam inoculante ou adubação mineral nitrogenada.

Figura 5 - Valores médios da massa seca da raiz (MSR). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



As maiores AP foram encontradas para os Tratamentos 10 e 9, com 33,05 e 31,61 cm, respectivamente. Com exceção do T1 e T8, os demais tratamentos não apresentaram diferença de médias entre si, igualando-se estatisticamente a T9 e T10 (Figura 6).

Figura 6 - Valores médios da altura de planta (AP). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



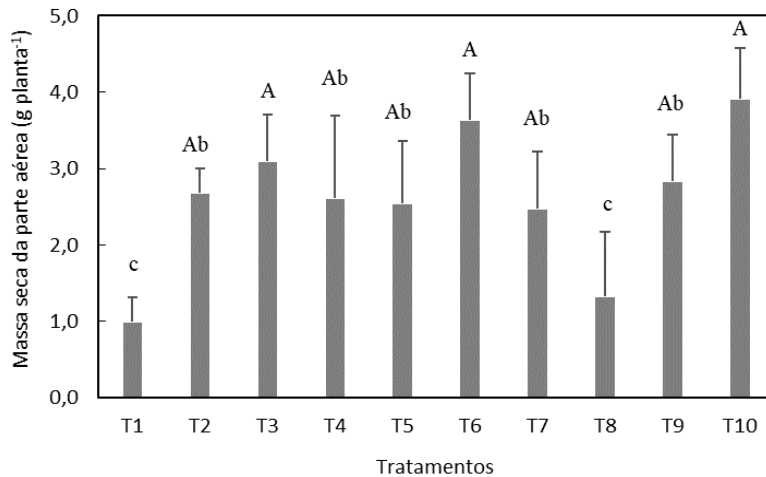
A altura da planta é importante para assegurar sustentação da parte aérea da planta, como também a qualidade fitossanitária das sementes, onde uma maior altura impede o contato

das vagens diretamente com o solo, evitando excesso de umidade e apodrecimento (CAPRISTO et al., 2020).

De acordo com Leal e Prado (2008), a quantidade de nitrogênio requerida pelo feijoeiro, quando não atendida, pode reduzir o desenvolvimento vegetativo da planta, afetando conseqüentemente a AP, conforme verificado no T1, que não recebeu inoculação e não recebeu adubação mineral nitrogenada. Menor média para esta variável também foi observada para T8, onde, pode-se supor, que a aplicação do inoculante em cobertura em estádios mais tardios do ciclo do feijoeiro, pode não conseguir fornecer N suficiente para um melhor desenvolvimento vegetativo das plantas, uma vez que a população rizobiana adicionada via inoculação em cobertura demora para se estabelecer no solo, realizar todas as suas etapas e finalmente ofertar N às plantas, atendendo a demanda.

A MSPA é considerada um indicativo para uma análise nutricional das plantas e potencial produtivo, sendo empregada nos critérios para produção de inoculantes de acordo com as estirpes utilizadas (SOUZA et al., 2008). A adubação nitrogenada disponibiliza prontamente o N no solo, onde então a absorção deste nutriente pelo sistema radicular é maior, sendo este o principal nutriente responsável pelo maior acúmulo de biomassa seca das plantas. Assim, o T10 foi o que melhor respondeu a este parâmetro (Figura 7), com valor médio de 3,92 g planta⁻¹. Porém, não se diferindo estatisticamente dos tratamentos 3 e 6, demonstrando que a inoculação, nessas condições, conseguiu ofertar esse macronutriente às plantas do feijoeiro, garantindo sua manutenção, em relação a adubação mineral nitrogenada.

Figura 7 - Valores médios da massa seca da parte aérea (MSPA). Experimento I – casa de vegetação. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Menores médias foram encontradas para T8 nas variáveis CRP, MSPA e AP, o que sugere que o inoculante, quando fornecido em estádios mais avançados de crescimento do feijoeiro, pode não conseguir suprir a demanda de N das plantas, e dessa forma fornece-lo em quantidades necessárias para seu desenvolvimento vegetativo, até o período de formação das primeiras vagens (canivetes).

4.2 Experimento II - campo

4.2.1 Análises Nodulares

Pelo resultado na Análise de Variância expresso na Tabela 5, para as análises nodulares feitas em R7 do Experimento II – campo, verificou-se que as análises de NT e MSN se mostraram influenciadas pelo fator Tratamento (T). Com relação a precisão experimental das variáveis de nodulação do feijoeiro, pode-se verificar que os valores de C.Vs obtidos, acima de 30%, podem ser considerados de baixa precisão (PIMENTEL-GOMES, 1990). Porém, foi possível verificar diferenças estatísticas entre os tratamentos testados.

Tabela 5 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: nódulos totais (NT) e massa seca de nódulos (MSN). Experimento II – campo.

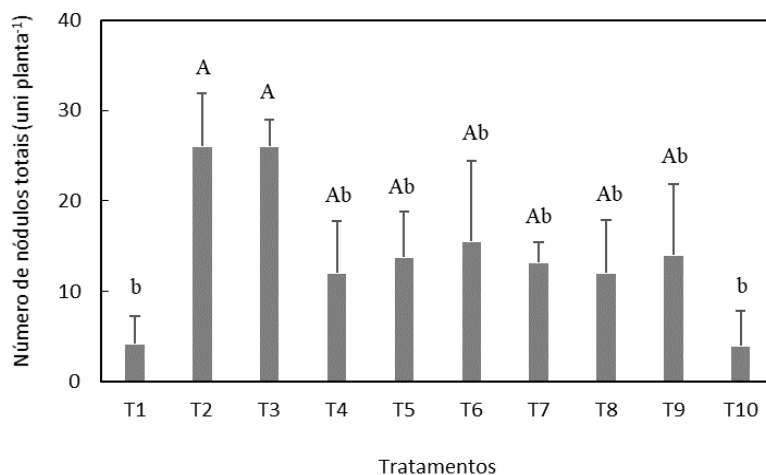
| Causas de variação | G.L | Quadrado Médio | |
|--------------------|-----|----------------|---------|
| | | NT | MSN |
| Tratamento (T) | 9 | 169,37** | 0,021** |
| Bloco | 3 | 94 | 0,017 |
| Resíduo | 27 | 34,14 | 0,003 |
| C.V(%) | | 38,4 | 33,9 |

G.L. Graus de Liberdade; C.V.: coeficiente de variação; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; **Significativo a 1% pelo teste de F; ^{ns} Não Significativo.

Sabe-se que os benefícios da simbiose no feijoeiro se iniciam entre 15 a 20 dias após a semeadura e tem queda na atividade de FBN a partir do estágio R5, onde a reinoculação pode promover a manutenção da FBN em períodos onde essa atividade começa a declinar (ARAÚJO et al., 1996; MATOSO e KUSDRA, 2014).

Se tratando de NT (Figura 8), o T2 e T3 apresentaram as maiores médias, com 26 uni planta⁻¹ em ambos, não diferindo, entretanto, dos demais tratamentos inoculados, gerando um acréscimo de 21,7 uni planta⁻¹ na formação de novos nódulos, quando comparados ao tratamento não inoculado (T1).

Figura 8 - Valores médios de nódulos totais (NT). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



No T1 predominou a população de bactérias nativas no solo, com baixo potencial fixador de N₂ atmosférico, visto a baixa quantidade de nódulos produzidos no referido tratamento, sendo igual estatisticamente ao T10, que empregou adubo mineral nitrogenado.

Ademais, a adição do N mineral em doses elevadas, como usado no presente estudo, torna as bactérias fixadoras nativas ineficientes, justificando assim a baixa taxa de nodulação neste tratamento.

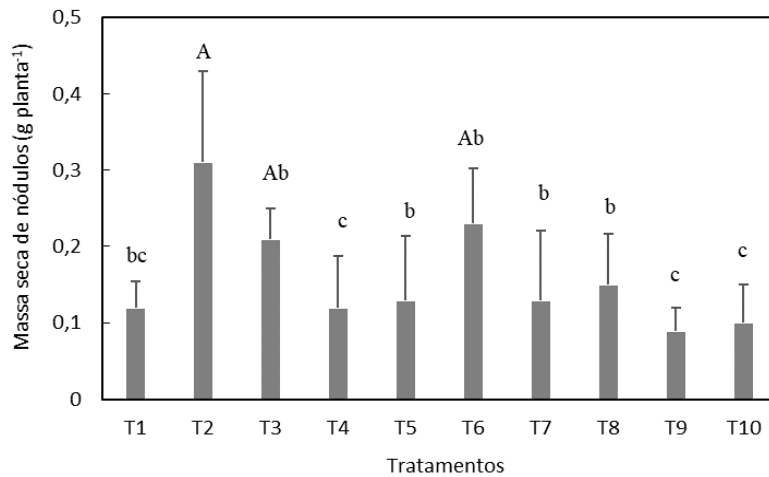
Baseado neste contexto, pode-se afirmar que os tratamentos não inoculados apresentaram baixa capacidade de nodulação, conforme discutido anteriormente, contrariando resultado de Vieira et al. (2005) e Fullin et al. (1999) que observaram nodulação nas testemunhas não inoculadas de feijão comum e relacionaram a presença de espécies de rizóbios nativas no solo. Estes resultados podem ser justificados pela maior capacidade de resposta dos genótipos atuais de feijão ao emprego de rizóbios, sendo mais eficientes na fixação do N₂ atmosférico, provenientes da espécie *R. tropici*, e que, por outro lado, são menos promiscuas em relação as bactérias fixadoras de N nativas do solo. Destaca-se ainda, que a cultivar BRS FC402, por apresentar hábito de crescimento indeterminado (tipo II) e arquitetura semiereta, contribuiu para o sucesso da reinoculação por pulverização em cobertura, permitindo a chegada do produto ao solo e posteriormente ao sistema radicular, possibilitando o processo de infecção e formação de nódulos.

Apesar da não detecção de diferença significativa entre os tratamentos que receberam inoculação, os tratamentos que receberam reinoculação em cobertura a partir do estágio reprodutivo apresentaram menor capacidade de nodulação, o que pode ser justificado pela proximidade das reinoculações com as fases de maior exigência das plantas, que são as fases de florescimento e enchimento de reservas.

De maneira geral, o número de nódulos totais produzidos na presente pesquisa, nos tratamentos inoculados, pode ser considerado elevado de acordo com Cardoso et al. (2009), com média de 15,2 uni planta⁻¹, indicando uma boa eficiência simbiótica. Porém, é importante ressaltar que embora a quantidade de nódulos formada tenha sido considerada grande, deve-se analisar também a massa seca desses nódulos, pois uma quantidade significativa de nódulos com tamanho inferior, pode limitar a eficiência da FBN, pois, quando muito pequenos, podem não conseguir retornar N fixado de forma adequada às plantas (HANSEN et al., 1993).

Com relação a avaliação da MSN (Figura 9), pode-se notar que as maiores médias foram verificadas em T2, seguida dos T3 e T6, enquanto as menores médias foram obtidas em T4, T9 e T10, diferenciando em parte dos resultados de número de nódulos produzidos, especialmente em relação ao tratamento testemunha.

Figura 9 - Valores médios da massa seca de nódulos (MSN). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Em estudo conduzido por Sales (2020), investigando o momento ideal para realização da reinoculação em cobertura de *Rhizobium tropici* no feijoeiro sob plantio direto, maiores médias foram verificadas para o tratamento inoculado nas sementes com *R. tropici* e reinoculadas em V4 ou R5, onde as reinoculações somaram ao NT e refletiram em uma maior MSN. Tal comportamento não foi observado neste estudo, uma vez que as reinoculações em cobertura realizadas nos tratamentos T3 ao T9 não apresentaram efeito acumulativo neste parâmetro, onde apenas o T2 manteve maior valor médio.

Diante disso, pode-se averiguar que a inoculação via semente e reinoculação em V4 possibilitou a manutenção dos nódulos quando comparado ao tratamento que recebeu a inoculação somente via semente. As reinoculações feitas nos demais estádios de crescimento do feijoeiro não foram eficientes para promover uma maior quantidade de nódulos em avaliações no estágio R7.

Destaca-se que a União da Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola (RELARE) utiliza a avaliação de número de nódulos e massa seca de nódulos como uns dos critérios para avaliação da eficiência simbiótica entre rizóbios e fabáceas (XAVIER et al., 2006; SOUZA et al., 2008).

4.2.2 Análises Morfológicas

Pela análise variância das variáveis morfológicas pode-se constatar que os parâmetros CRP, MSR, MSPA e IAF foram influenciados pelos tratamentos, contrariamente aos parâmetros AP, TN e DC, que não foram influenciados pelos mesmos (Tabela 6).

Tabela 6 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: comprimento da raiz principal (CRP), massa seca da raiz (MSR), altura de planta (AP), massa seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio (TN), diâmetro do caule (DC) e índice de área foliar (IAF). Experimento II – campo.

| Causas de variação | G.L | Quadrado Médio | | | | | | |
|--------------------|-----|----------------|---------|-----------------------|---------|---------------------|---------------------|---------|
| | | CRP | MSR | AP | MSPA | TN | DC | IAF |
| Tratamento (T) | 9 | 56,556** | 5,983** | 614,450 ^{ns} | 74,275* | 0,205 ^{ns} | 1,251 ^{ns} | 0,294** |
| Bloco | 3 | 28,677 | 1,748 | 142,35 | 6,829 | 0,095 | 0,934 | 0,033 |
| Resíduo | 27 | 7,732 | 1,872 | 305,9 | 27,764 | 0,154 | 0,604 | 0,081 |
| C.V(%) | | 11,0 | 25,8 | 17,7 | 34,9 | 7,4 | 14,1 | 17,4 |

G.L. Graus de Liberdade; C.V.: coeficiente de variação; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; **Significativo a 1% pelo teste de F; ^{ns} Não Significativo.

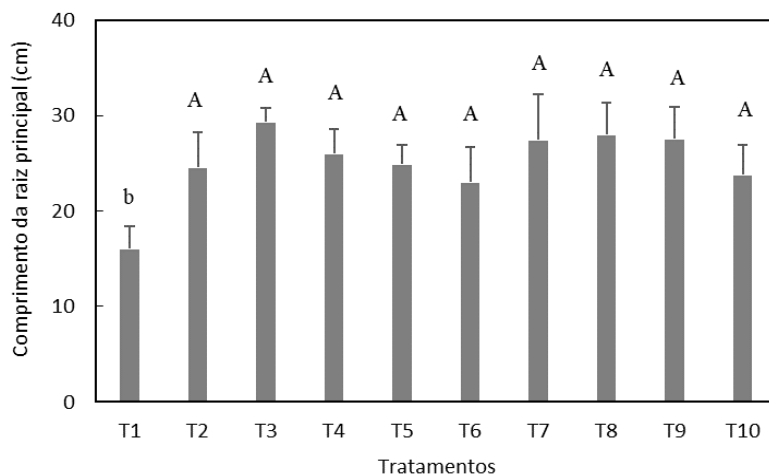
Com relação a precisão do estudo, pode-se verificar baixa precisão experimental para as variáveis MSR e MSPA, em que valores de C.Vs se encontraram acima de 20% (PIMENTEL-GOMES, 1990), porém sendo possível a detecção do efeito significativo entre os tratamentos. As demais variáveis avaliadas apresentaram boa precisão experimental na obtenção dos dados.

De acordo com Pereira (2019), o Diâmetro do Caule (DC), por ser uma característica do genótipo e, portanto, apresentando baixos genes que possam interferir nessa avaliação, se tratando de um aspecto morfológico, não sofre influência pelos tipos de tratamento empregados ao longo do desenvolvimento da planta.

Quanto a TN, segundo Rosolem (1987), a translocação de nutrientes se inicia no período de formação de canivetes, onde o N, presente nas folhas, é direcionado à formação de vagens e posteriormente ao enchimento de grãos. Como a amostragem neste estudo ocorreu no estágio R7, caracterizado como período de formação de canivetes no feijoeiro, onde se tem maior demanda de nutrientes pelo processo de enchimento de reservas dos grãos, o TN pode ter sofrido efeito diluição, que se dá com a translocação no N da folha, local de maior concentração, para um local de menor concentração (grão em enchimento), justificando assim a não significância desse parâmetro quando analisado nas folhas. Silva et al. (2009) e Kaneko et al. (2010) também não observaram influência significativa para o teor de nitrogênio foliar no feijoeiro, quando submetidos a tratamentos com inoculação.

As maiores médias do CRP foram verificadas nos tratamentos em que foram empregadas células rizobianas via semente e em cobertura, equivalente ao tratamento em que o N foi fornecido por adubo mineral (Figura 10).

Figura 10 - Valores médios do comprimento da raiz principal (CRP). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

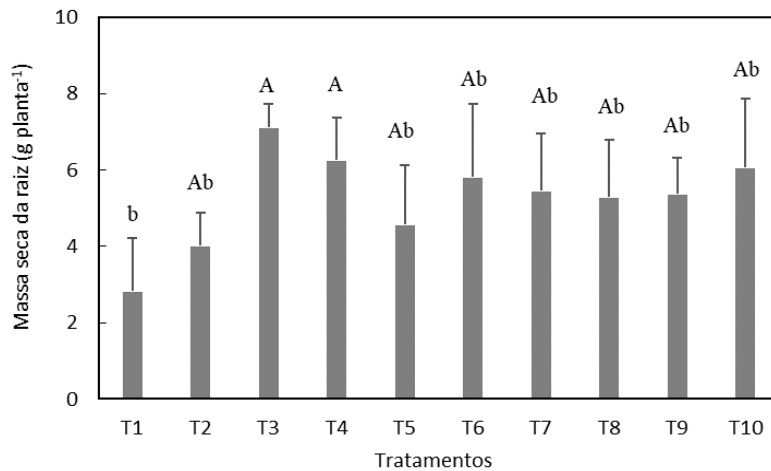


Em contrapartida, a menor média referente ao CRP foi encontrada no tratamento não inoculado (testemunha), com valor de 16,0 cm. Os demais tratamentos puderam gerar um acréscimo de até 13,27 cm. Esse acréscimo de raízes pode influenciar na produtividade do feijoeiro, uma vez que a extremidade das raízes e o desenvolvimento de zonas pilíferas aumentam a absorção de água e nutrientes pelas plantas, auxiliando no melhor desenvolvimento das mesmas (MAIA et al., 2015). Capristo et al. (2020) trabalhando feijão comum sob diferentes doses de inoculante a base de *Rhizobium tropici* obtiveram valores médios de CRP próximos aos encontrados neste estudo, para a mesma dosagem de inoculante, em análises realizadas em R6.

Se tratando do elemento mais abundante nas plantas e por participar de processos como a síntese de proteínas e formação de nucleotídeos importantes para o metabolismo celular, além de fazer-se presente na composição de proteínas, enzimas e coenzimas, o nitrogênio se torna contribuinte no crescimento das plantas, tanto do sistema radicular, como na parte aérea (MARENCO e LOPES, 2005). Desta forma, foi possível verificar que os T3 e T4 resultaram os maiores valores médios para o parâmetro MSR, com valores de 7,1 e 6,3 g planta⁻¹,

respectivamente. Com exceção do tratamento controle, os demais tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si (Figura 11).

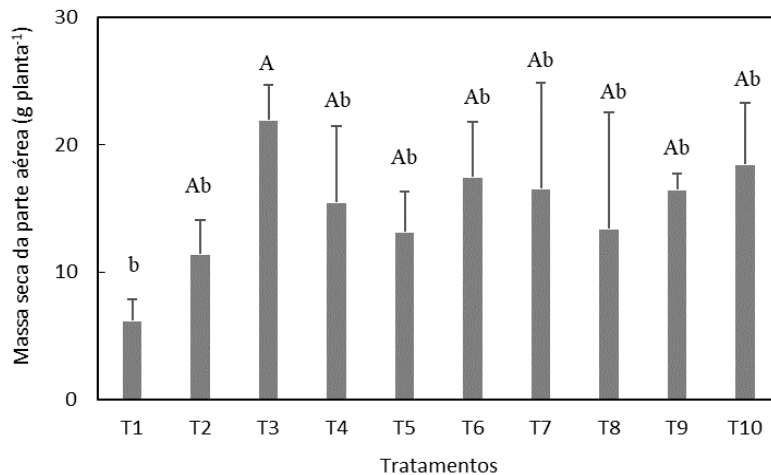
Figura 11 - Valores médios da massa seca da raiz (MSR). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



O uso da inoculação via semente + reinoculação em V4 (T3) gerou incremento de 152% da MSR em relação a testemunha e 17% em relação ao tratamento que recebeu a adubação mineral nitrogenada (T10). Esse resultado contradiz ao encontrado por Ramires (2018), onde o tratamento com fertilizante mineral foi 25% superior ao inoculado, para o mesmo parâmetro avaliado. Destaca-se que a MSR é um parâmetro importante a ser observado, uma vez que um sistema radicular mais volumoso pode propiciar maior absorção de nutrientes pela planta, pelo maior contato da raiz com o solo, proporcionando então uma maior resposta da planta quanto ao seu potencial produtivo (BETTIOL, 2019).

Em estudo conduzido por Sales (2020) foi possível verificar que a reinoculação de *Rhizobium tropici* no feijoeiro, influenciou o parâmetro MSPA, produzindo média de 17,9 g planta⁻¹ em tratamento não reinoculado; 15,5 g planta⁻¹ quando reinoculado em V4 e 16,6 g planta⁻¹ quando reinoculado em R5. Contrariando estes resultados, no presente estudo, verificou-se que o tratamento reinoculado em V4 (T3) apresentou o maior valor médio, de 21,9, 15,4 g planta⁻¹ para o tratamento reinoculado em R5 (T4) e para o T2 o valor médio foi de 11,42 g planta⁻¹ (Figura 12).

Figura 12 - Valores médios da massa seca da parte aérea (MSPA). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

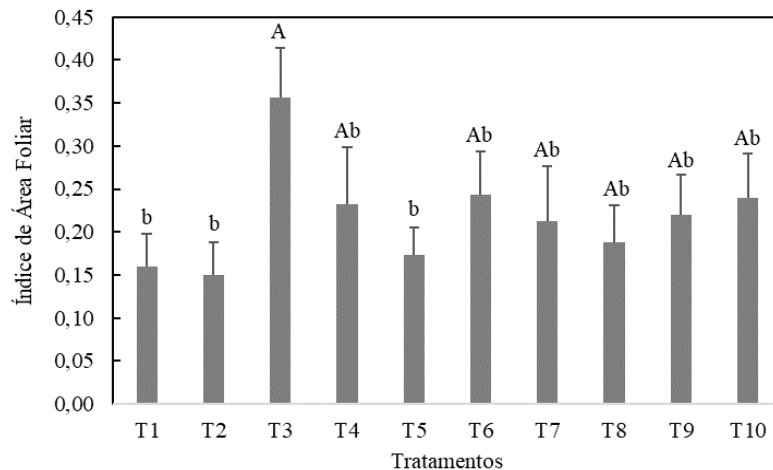


Em adição, quando comparado ao tratamento controle (T1), o T3 gerou um incremento na MSPA de 15,7 g planta⁻¹, enquanto o tratamento submetido ao adubo mineral nitrogenado gerou incremento de 12,2 g planta⁻¹, não superando, dessa forma, o tratamento que recebeu inoculação via semente + reinoculação em V4.

Resultado semelhante foi verificado para o IAF, onde o T3 propiciou um incremento de 140% em comparação ao tratamento que recebeu apenas inoculação via semente (T2) (Figura 13).

Destaca-se que o N participa de processos de divisão e expansão celular, portanto é o macronutriente responsável por estimular o crescimento e desenvolvimento da cultura, aumentando o índice de área foliar. O aumento do IAF, de modo que não ocorra autossombreamento, possibilita uma maior área de contato com a radiação solar e consequente aumento da taxa fotossintética, resultando em maior acúmulo de matéria seca nas plantas (MARSCHNER, 2012).

Figura 13 - Valores médios do índice de área foliar (IAF). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



4.2.3 Análises Agronômicas

O resultado da Análise de Variância para as análises agronômicas, mostram que houve efeito significativo dos tratamentos sobre as variáveis NVP, PCG e PROD. Contrariamente as variáveis EF e NGV, que não foram influenciadas pelos tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo da Análise de Variância para os caracteres: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (PCG), produtividade (PROD) e estande final (EF). Experimento II – campo.

| Causas de variação | G.L | Quadrado Médio | | | | |
|--------------------|-----|----------------|----------------------|----------|-------------|----------------------|
| | | NVP | NGV | PCG | PROD | EF |
| Tratamento (T) | 9 | 95,81* | 0,1652 ^{ns} | 195,39** | 2221299,5** | 3,5583 ^{ns} |
| Bloco | 3 | 52,95 | 0,0036 | 89,26 | 350187,91 | 5,7583 |
| Resíduo | 27 | 36,09 | 0,1502 | 15,68 | 280791,7 | 3,3509 |
| C.V(%) | | 21,8 | 7,6 | 11,5 | 25,3 | 18,6 |

G.L. Graus de Liberdade; C.V.: coeficiente de variação; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; **Significativo a 1% pelo teste de F; ^{ns} Não Significativo.

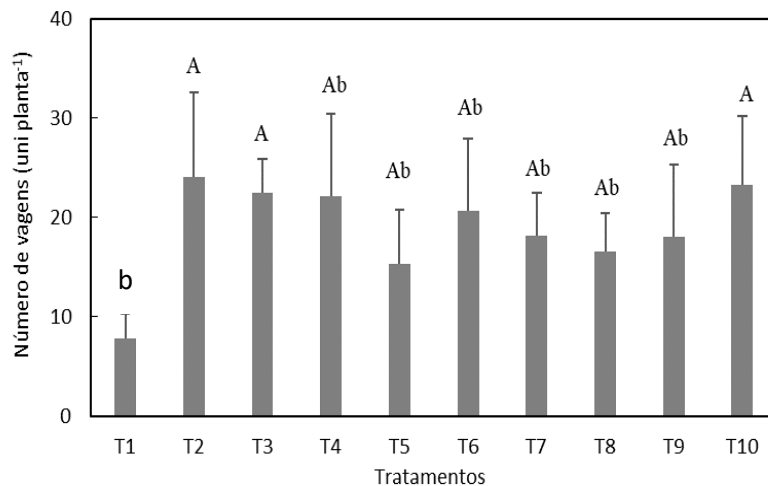
A precisão experimental das características agronômicas avaliadas podem ser consideradas boas, quando se compara aos limites máximos aceitáveis das variáveis comumente avaliadas, citadas por Oliveira et al. (2009), para classificar a precisão experimental em estudos com a cultura de feijão: altura de planta (15,7%), estande final (15,3%), número de vagem por planta (26,3%), número de grãos por vagem (18,4%), peso de 100 grãos (11,3%) e produtividade de grãos (24,9%). Destaca-se que o estabelecimento destes limites aceitáveis de C.Vs, levando em consideração cada variável, mostra-se mais eficiente para comparar precisão experimental em estudos de feijão, em relação a classificação citada anteriormente por Pimentel-Gomes (1990), que é generalista e não considera cada característica individualizada.

O estande final de plantas de feijão não foi influenciado pelos tratamentos, e apresentou valores médios que variaram entre 10 a 12 plantas por metro linear (dados não mostrados), confirmando que os tratamentos testados não influenciaram o comportamento dos dados desta variável. Esta variação encontrada para o EF é pequena e não influencia a produtividade do feijoeiro, mesmo no menor estande, em razão das plantas de feijão realizarem a compensação dos espaços existentes. Ademais, um EF entre 10 e 12 plantas por metro linear, em combinação com espaçamento de 0,5 m, permite a obtenção de 200 a 220 mil plantas ha⁻¹, próximo, portanto, a população de 240 mil plantas ha⁻¹, considerada adequada para a lavoura de feijão conforme relatos de Araújo (2007).

A análise de variância não detectou efeitos significativos dos tratamentos para o NGV. Como essa característica é mais intrinsecamente ligada às características genotípicas, sendo pouco influenciada pelo ambiente, pode-se justificar o resultado não significativo aos tratamentos aplicados neste estudo, sendo que, normalmente, estes valores situam-se entre 4 a 5 grãos por vagem (CAVALCANTE et al., 2017), valores estes encontrados na presente pesquisa (dados não mostrados).

Maiores médias para o parâmetro NVP foram encontradas nos tratamentos inoculados, mas que não diferiram entre si, com destaque para T2 e T3 (Figura 14), que foram equivalentes estatisticamente ao tratamento com adubo mineral nitrogenado, contrariando resultados de Andrade et al. (2001), ao afirmarem que o N fornecido na forma mineral, tanto em semeadura quanto em cobertura, resulta em maior NVP, comparado ao tratamento inoculado.

Figura 14 - Valores médios do número de vagens por planta (NVP). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



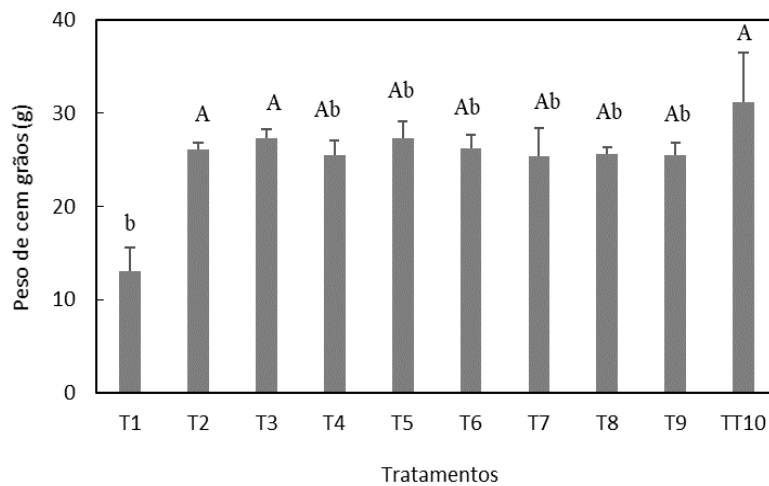
Por outro lado, a testemunha (T1) propiciou a obtenção da menor média para o NVP, confirmando que as bactérias nativas no solo não foram capazes de fornecer o N necessário para um bom desenvolvimento da cultura de feijão.

O fornecimento satisfatório de N pelo processo de FBN, com ênfase aos tratamentos 2 e 3, certamente possibilitou o aporte desse nutriente em quantidade adequada, garantindo maior produção de flores e conseqüentemente maior produção de vagens, corroborando aos relatos de Portes (1996). A maior produção de NVP encontrada nos referidos tratamentos, em torno de 24 vagens por planta, é superior ao valor médio encontrado por Hawerth et al. (2011) em seu estudo com inoculação com *Rhizobium* para a cv. Carioca, onde obtiveram uma média de 22 vagens por planta. Frisa-se que, dentre os componentes de produção, o NVP é o que mais influencia na produtividade da cultura de feijão (SOUZA et al., 2008).

Ademais, em trabalho realizado por Fonseca et al. (2013) com oito cultivares de feijão comum e duas estirpes de *Rhizobium*, foi possível averiguar dependência da estirpe utilizada em relação ao número de vagens por planta. Em contrapartida, Ferreira et al. (2000) afirmam que o número de vagens por planta está mais intimamente relacionado a cultivar e que não sofre interferência da estirpe utilizada na inoculação. Destaca-se que, independentemente da escolha da estirpe e da cultivar na análise de NVP, podemos observar acréscimos significativos neste parâmetro quando realizada a inoculação, assegurando equivalência estatística com adubação mineral nitrogenada.

Quanto a análise de PCG, que apesar de ser uma variável que sofre pouca influência do meio, ou seja, com variação dependente do genótipo da planta, assim como o NGV, os valores médios encontrados neste estudo variaram entre 13,0 g e 27,3 g, para o tratamento que não recebeu inoculação (T1) e o tratamento 3, respectivamente, sendo este último equivalente estatisticamente ao T10, que recebeu adubação mineral nitrogenada (Figura 15).

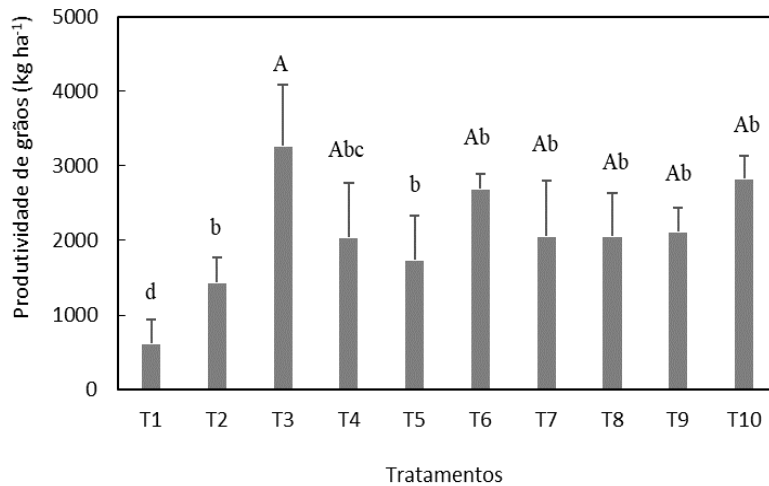
Figura 15 - Valores médios do peso de cem grãos (PCG) Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estádio V4; T4 = VS + reinoculação no estádio R5; T5 = VS + reinoculação no estádio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Destaca-se, que os tratamentos que receberam inoculação, assim como o T10, apresentaram valores médios de 25 g, próximos, portanto, ao parâmetro da cultivar BRS FC402, que é de 26g. Esta pequena diferença, segundo Silva et al. (2011) pode ser atribuída ao manejo empregado e as condições ambientais, que podem influenciar no resultado final para este parâmetro.

Conforme relatos de Fageria et al. (2015), para alcançar a produtividade máxima do feijoeiro, todos os seus componentes de produção devem alcançar seus níveis máximos, além de seu equilíbrio adequado. Baseado neste pressuposto, seguindo a mesma tendência de seus componentes, a maior produtividade de grãos foi obtida quando se realizou a inoculação via semente seguida da reinoculação em V4 (T3), que possibilitou obter uma produtividade de 3.271 kg ha⁻¹, a maior encontrada neste estudo, sendo 15% superior ao tratamento com formulado nitrogenado (T10), mas não diferindo estatisticamente desta (Figura 16).

Figura 16 - Valores médios de produtividade (PROD). Experimento II – campo. Em função dos tratamentos: T1 = controle não inoculado; T2 = inoculação via semente (VS); T3 = VS + reinoculação no estágio V4; T4 = VS + reinoculação no estágio R5; T5 = VS + reinoculação no estágio R6; T6 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R5; T7 = VS + reinoculação nos estádios V4 e R6; T8 = VS + reinoculação nos estádios R5 e R6; T9 = VS + reinoculação nos estádios V4, R5 e R6; T10 = adubação mineral nitrogenada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Comparado ao tratamento controle (T1), que não recebeu inoculação e adubação mineral nitrogenada, o T3 resultou em um acréscimo de 2.644 kg ha⁻¹, confirmando a eficiência no uso de inoculação para aumento de rendimento de grãos de feijão.

Pelegrin et al. (2009) obtiveram produtividade de grãos de feijão cv. Pérola de 3.339 kg ha⁻¹ em tratamento que recebeu inoculação com rizóbio via semente, estirpe SEMIA 4077, equivalente à aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N, próximo, portanto, a produtividade média obtida nesta pesquisa. Semelhante, em estudo realizado por Sousa (2020) com feijão cv. BRS Valente, obteve-se produtividade de 3.976 kg ha⁻¹ para o tratamento que recebeu inoculação em cobertura + reinoculação suplementar em cobertura feita no estágio V4, corroborando com os resultados expressos neste trabalho, e confirmando a eficiência do processo de inoculação na cultura do feijão quando se associa a inoculação na semente e reinoculação em cobertura realizada no estágio V4.

Destaca-se ainda, que a maior produtividade média obtida neste estudo para o T3, de 3.271 kg ha⁻¹, se encontrou acima da obtida na safra 2019/2020 de feijão cores total, que foi de 1.568 kg ha⁻¹ e estando acima da produtividade máxima esperada da variedade BRS FC402 para o estado de Goiás, que é de 2.594 kg ha⁻¹ para a safra das águas (CONAB, 2021; EMBRAPA, 2017), mostrando assim o potencial do uso da técnica, em que se faz a inoculação via semente e posteriormente a reinoculação em cobertura no estágio V4, podendo substituir totalmente o fornecimento de adubo mineral nitrogenado na cultura do feijão.

5 CONCLUSÃO

- O uso da reinoculação de células rizobianas em cobertura, em complementação a inoculação na semeadura, influencia o processo de nodulação do feijoeiro.
- As características morfológicas das plantas de feijão apresentam bom desenvolvimento com o fornecimento de N realizado pela inoculação e reinoculação em cobertura, equivalente a adição de adubo mineral nitrogenado.
- A reinoculação em cobertura nos estádios reprodutivos R5 a R7, não se mostra eficiente no fornecimento de N à cultura de feijão.
- A inoculação aplicada via semente, associada a reinoculação em cobertura no estágio V4 propicia maior rendimento da cultura do feijão, podendo substituir o uso de adubo mineral nitrogenado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.F.B.; BIAVA, M. (Ed). **Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na região sul de Minas Gerais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 6p. (Sistemas de Produção)
- ALVAREZ, A.C.C.; ARF, O.; ALVAREZ, R.C.F.; PEREIRA, J.C.R. Resposta do feijoeiro à aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.1, p.69-75, 2005.
- ANDRADE, M.J.B.; LUCCA, P.; RESENDE, P.; KIKUT, H. Época de colheita em cinco cultivares de feijoeiro e efeitos sobre o rendimento de grãos e seus componentes primários. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, p.213-219, 2001.
- ANDROELA, F. Fixação simbiótica de nitrogênio pelo feijoeiro. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina. **A cultura do feijão em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1992. p.137-143.
- ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. 786f.
- ARAÚJO, F.F.; CARMONA, F.G.; TIRITAN, C.S.; CRESTE, J.E. Fixação biológica de N₂ no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.4, p.535-540, 2007.
- ARF, O.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P.; FERRARI, S. (Ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L**. Botucatu: FEPAF, 2015. 433p.
- BARBOSA, F.B.; GONZAGA, A.C.O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1.ed. 2012. 247p. (Documentos, 272)
- BARBOSA, G.F.; ARF, O.; NASCIMENTO, M.S.; BUZETTI, S.; FREDDI, O.S. Nitrogênio em cobertura e molibdênio foliar no feijoeiro de inverno. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, n.1, p.117-123, 2010.
- BARROS, R.L. N.; OLIVEIRA, L.B.; MAGALHÃES, W.B.; MÉDICI, L.O.; PIMENTEL, C. Interação entre inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada de plantio na produtividade do feijoeiro nas épocas da seca e das águas. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.4, p.1443-1450, 2013.
- BETTIOL, J.V.T. **Produção sustentável do feijão comum: inoculação, coinoculação e adubação mineral em cultivares de ciclo precoce**. 2019. 51p. Dissertação (Mestrado) – Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária UNESP, Jaboticabal, 2019.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E.S. A cultura. In: VIEIRA, C.; JÚNIOR, T. J. de P.; BORÉM, A. **Feijão**. 2.ed. Lavras: UFV, 2008. cap.1. p.13-18.
- BORGES, B.M.M.N.; LUCAS, F.T.; MODESTO, V.C.; PRADO, R.M.; SILVA, E.S.; BRAOS, B.B. Métodos de determinação da matéria seca e dos teores de macronutrientes em folhas de alface. **Revista Trópica Ciências Agrárias e Biológicas**, Jaboticabal, v.5, n.1, p.1216, 2011.

BRASIL. Instrução Normativa sda nº 13, de 24 de março de 2011. **Diário Oficial da União**: seção 1. Brasília, DF, n.58, p.1-24, 25 mar. 2011.

BRASIL. Instrução Normativa nº12, de 28 de março de 2008. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Brasília, 30 mar. 2008.

BROCH, D.L.; FERNENDES, C.H. **Resposta da soja à aplicação de micronutrientes**. Maracaju: fundação MS para pesquisa e difusão de tecnologias agropecuárias, 1999. 56p. (Informativo Técnico)

BURATTO, J.S.; MODA CIRINO, V.; SCHOLZ, M.B.S.; LANGAME, D.E.M.; FONSECA JUNIOR, N.S.; PRETÉ, C.E.C. Variabilidade genética e efeito do ambiente para o teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.4, p.593-597, 2009.

BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; GAZOLA, R.N.; DINALLI, P.R. Aspectos gerais da adubação da cultura. In: ARF, O. et. al., (org.). **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L.** Botucatu: FEPAF, 2015. cap.5 p.77-109.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L.(eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.375-470, 2007.

CAPRISTO, D.P.; TORRES, F.E.; CORRÊA, C.C.G.; SILVA, F.A.; ZANUNCIO, A.S.; MENDONÇA, G.G.; OLIVEIRA, A.D.M. Inoculante e bioestimulante no desempenho do feijão comum cultivado no ecótono Cerrado-Pantanal. **Research, Society and Development**, v.9, n.5, p.e188953380, 2020.

CARDOSO, J.C.; GOMES, D.F.; GOES, K.C.G.P.; FONSECA, N.S.; DORIGO, O.F.; HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S. Relationship between total nodulation and nodulation at the root crown of peanut, soybean and common bean plants. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 41, p. 1760–1763, 2009.

CARVALHO, W.P. **Avaliação de linhagens de feijoeiro comum nos anos de 2005 e 2006, nas condições de Cerrado do Distrito Federal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 22p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 184)

CASSINI, S.T.A.; FRANCO, M.C. Fixação Biológica de Nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, J.; BORÉM, A.(ed). **Feijão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.143-170.

CAVALCANTE, A.C.P.; CAVALCANTE, A.G.; DINIZ NETO, M.A.; MATOS, B.F.; DINIZ, B.L.M.T.; BERTINO, A.M. Inoculação das cultivares locais de feijão-caupi com estirpes de rizóbio. **Revista de Ciências Agrárias**, v.60, n.1, p.38-44, 2017.

CHAGAS, J.M.; BRAGA, J.M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L.T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.J.B.; LANA, R.M.Q.; RIBEIRO, A.C. Feijão. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, CFSEMG. 1999. p.306-307.

COELHO, J.D. **Produção de grãos – feijão, milho e soja**. Caderno Setorial ETENE, ano 3, n.33, 2018. 11p.

COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO - CTSBF. **Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira**. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 2012. 157p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Perspectivas para a agropecuária: safra 2019/2020**. Brasília, v.7, p.57-67, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **11º Levantamento – Safra 2019/2020: Tabela de levantamento**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 11 ago. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **12º Levantamento – Safra 2020/2021: Tabela de levantamento**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> . Acesso em: 11 set. 2021.

CORSINI, D.C.D.C.; ARF, O.; TAKASU, A.T.; MEIRELLES, F.C.; MENEZES, J C.A.; MARTINS, J.T.; GARCIA, N.F.S.; PORTUGAL, J.R. Desenvolvimento do feijão de inverno reinoculado com *Rhizobium tropici*. In: XII CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO. **Anais [...]** Piracicaba: ESALQ/USP, 2017. p.152-152.

COSTA, J.C.G.; ZIMMERMANN, M.J.O. Melhoramento genético. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T.(eds.). In: **A cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1988. p.229-245.

DOURADO-NETO, D.; FANCELLI, A.L. Descrição dos estádios fenológicos e ecofisiologia. In: **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000, p.33-45.

EMBRAPA. **Inoculação com Rizóbio na cultura do feijoeiro**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2012. 2p.

EMBRAPA. BRS FC402: **Cultivar de Feijão-Comum Carioca com Alta Produtividade, Resistência à Antracnose e Murcha-de-Fusário**. 1.ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 4p.

EMBRAPA. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 2018. 59p.

EMBRAPA. **Catálogo de cultivares de feijão comum**. 4.ed. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. 16p.

EVANGELISTA, M.L.A.; LIMA JÚNIOR, A.F.; OLIVEIRA, I.P.; BRITO, G.S.; SILVA, M.C.; COSTA, R.F. Avaliação do tempo de germinação de diferentes Variedades de feijão carioca cultivada na região do Centro-oeste do Brasil. **Revista Faculdade Montes Belos**, Montes Belos, v.8, n.5, p.86-139, 2015.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v.88, p.97-185, 2005.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B.; CARVALHO, M.C.S. **Nutrição mineral do feijoeiro**. Brasília: Embrapa, 2015. 394p.

FANCELLI, A.L. **Tecnologia para produção do feijoeiro**. Piracicaba: SEBRAE, 1994. 154p.

- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de feijão**. 2.ed. Piracicaba: Livro Ceres, 2007. 386p.
- FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LOPES, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 34p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2014.
- FERREIRA, E.P.B.; MERCANTE, F.M.; HUNGRIA, M.; MENDES, I.C.; ARAÚJO, J.L.S.; FERNANDES JÚNIOR, P.I.; ARAÚJO, A.P. Contribuição para melhoria da eficiência da fixação biológica de nitrogênio no feijoeiro-comum no Brasil. In: **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p.251-291.
- FERREIRA, A.N.; ARF, O.; CARVALHO, M.A.C.; ARAUJO, R.S.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Estirpes de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.507-512, 2000.
- FONSECA, G.G. **Resposta de cultivares de feijoeiro-comum à inoculação das sementes com duas estirpes de rizóbio em Minas Gerais**. 2011. 166p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia/fitotecnia, área de Concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- FONSECA, G.G.; OLIVEIRA, D.P.; SOARES, B.L.; FERREIRA, P.A.A.; TEIXEIRA, C.M.; MARTINS, F.A.D.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B. Resposta de cultivares de feijoeiro-comum à inoculação das sementes com duas estirpes de rizóbio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29 n.6, p.1778-1787, 2013.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT. Crops. Disponível em: < <https://www.fao.org/faostat/en/#home> > . Acesso em: 05 jul. 2020.
- FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum* brasilense. **AMB Express**, v.6, n.3, p.1-13, 2016.
- FULLIN, E.A.; ZANGRANDE, M.B.; LANI, J.A.; MENDONÇA, L.F.; DESSAUNE FILHO, N. Nitrogênio e molibdênio na adubação do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1145-1149, 1999.
- GARÉ, L.M. **Reinoculação de *Rhizobium tropici* no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro em sistema plantio direto em fase inicial e consolidado**. 2020, 56p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020.
- GAUDINIER, A.; RODRIGUEZ-MEDINA, J.; ZHANG, L.; OLSON, A.; LISERON-MONFILS, C.; BAGMAN, A.M.; FORET, J.; ABBITT, S.; TANG, M.; LI, B.; RUNCIE, D.E.; KLIEBENSTEIN, D.J.; SHEN, B.; FRANK, M.J.; WARE, D.; BRADY, S.M. Transcriptional regulation of nitrogen-associated metabolism and growth. **Nature**, v.563, n.7730, p.259-280, 2018.
- GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: CIAT, 1982. 10p. (Mimeografado)
- GOIÁS. **Clima**. 2020, Goiás. Acesso em: 02 jun. 2021.
- GOOGLE EARTH. Google Earth Pro. Acesso em: 11 jun. 2021.

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.

GUERRA, A.F.; DA SILVA, D.B.; RODRIGUES, G.C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para o feijoeiro na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1229-1236, 2000.

GUIMARÃES, C.M. **Efeitos fisiológicos do estresse hídrico**. 1998, 205p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

GUIMARÃES, V.F.; BATTISTUS, A.G.; SOUZA, A.K.P.; BULEGON, L.G.; OFFEMANN, L.C.; INAGAKI, A.M. Bactérias promotoras de crescimento vegetal: da FBN à regulação hormonal, possibilitando novas aplicações. In: ZAMBOM, M.A.; KUHN, O.J.; SILVA, N.L.S.; STANGARLIN, J.R.; NUNES, R.V.; FULBER, V.M.; EYNG, C. (Org.). **Ciências Agrárias: ética do cuidado, legislação e tecnologia na agropecuária**. Marechal Cândido Rondon: UNIOESTE, 2017. p. 192-212.

HAWERROTH, F.J.; CRESTANI, M.; PIRES, J.C.S. Desempenho de cultivares de feijoeiro sob inoculação com *Rhizobium* e relação entre os caracteres componentes do rendimento de grãos Semina: Ciências Agrárias, v.32, n.3, p. 897-908, 2011.

HANSEN, A.P.; YONEYAMA, T.; KOUCHI, H.; MARTIN, P. Respiration and nitrogen fixation of hydroponically cultured *Phaseolus vulgaris* L. cv. OAC Rico and a supernodulating mutant. **Planta, Berlin**, v.189, n.4, p. 538-545, 1993.

HUNGRIA, M.; STACEY, G. Molecular signals exchanged between host plants and rhizobia: basic aspects and potencial application in agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.819-830, 1997.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S.; CHUEIRE, L.M.O.; PROBANZA, A.; GUTIERREZ-MAÑERO, F.J.; MEGIAS, M. Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia from Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.32, n.11-12, p.1515-1528, 2000.

HUNGRIA, M., CAMPO, R.J., MENDES, I.C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p. (Circular Técnica n.35)

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**, New York, v.39, p.88-93, 2003.

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

HUNGRIA, M.; MENDES, I.C.; MERCANTE, F.M. **Tecnologia de fixação biológica do nitrogênio com o feijoeiro: viabilidade em pequenas propriedades familiares e em propriedades tecnificadas**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 30p. (Documentos n.338)

HUNGRIA, M.; MENDES, I.C. Nitrogen Fixation with Soybean: The Perfect Symbiosis? In: BRUJIN, F.J. (ed.). **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: Wiley e Sons, 2015. p.1009-1024.

- INFORZATO, R.; MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.22, n.38, p.477-481, 1963.
- KANEKO, F.H.; ARF, O.; GITTI, D.C.; ARF, M.V.; FERREIRA, J.P.; BUZETTI, S. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.125-133, 2010.
- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. 1.ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 452p.
- LEAL, R.; PRADO, R. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, p.301-306, 2008.
- MAIA, J.M., MACÊDO, C.E.C., SILVEIRA, J.A.G., SILVA, A.F., LIRA, E.H.A., MELO, A. S.; MENESES, C.H.S.G. Seca e salinidade na resposta antioxidativa de raízes de feijão caupi. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v.11, n.1 p.59-93, 2015.
- MATOSO, S.C.G.; KUSDRA, J.F. Nodulação e crescimento do feijoeiro em reposta à aplicação de molibdênio e inoculante rizobiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.6, 2014.
- MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 451 p.
- MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. San Diego: Academic Press, 2012. 672p.
- MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; CUNHA, M.H. **20 perguntas e respostas sobre fixação biológica de nitrogênio**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 17p.
- MERCANTE, F.M.; STRALIOTTO, R.; DUQUE, F.F.; FRANCO, A.A. **A inoculação do feijoeiro comum com rizóbio**. Seropédica: Embrapa-CNPBS, 1992. 8p. (Comunicado técnico n.10)
- MESQUITA, F.R.; CORRÊA, A.D.; ABREU, C.M. P.; LIMA, R.A.Z.; ABREU, A.F.B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.1114-1121, 2007.
- MORETTI, L.G.; LAZARINI, E.; BOSSOLANI, J.W.; PARENT, T.L.; CAIONI, S.; ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Can additional inoculations increase soybean nodulation and grain yield? **Agronomy Journal**, Guilford, v.110, n.2, p.715-721, 2018.
- OLIVEIRA, C.A.B.; PELÁ, G.M.; PELÁ, A. Inoculação com *Rhizobium tropici* e adubação foliar com molibdênio na cultura do feijão comum. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v.4, n.1, p.43- 50, 2017.
- OLIVEIRA, R.L.; MUNIZ, J.A.; ANDRADE, M.J.B.; REIS, R.L. Precisão experimental em ensaios com a cultura do feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p.113-119, 2009.
- PAREDES, M., BECERRA, V.; TAY, J. Inorganic nutritional composition of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes race Chile. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.69, n.4, p.486-495, 2009.
- PARIZOTTO, D.L.; MARCHIORO, V.S. Uso de inoculante *Rhizobium tropici* e nitrogênio em cobertura na cultura do feijão. **Cultivando o Saber**, Toledo, v.8, n.1, p.16-26, 2015.

- PELEGRIN, R.; MARTINS M.F.; NAKASE O.I. M.; AKIO O.A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.33, n.1, p.219-226, 2009.
- PEREIRA, H.S.; MELO, L.C.; FARIA, L.C.; FERREIRA, E.P.B.; MERCANTE, F.M.; WENLAND, A.; SOUZA, T.L.P.O. Common bean elite lines cultivated under nitrogen fertilization and inoculation with *Rhizobium tropici*. **Ciência Rural**, v.45, n.12, p.2168-2173, 2015.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental** 13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
- PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p.101-137.
- PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: UNESP, 2008. 407p.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Editora Nobel, 1999.549p.
- QUINTELA, E.D. **Manejo integrado de pragas do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 28p. (Circular técnica n. 46)
- RABELO, A.C.R.; RIBEIRO, D.F.; REZENDE, R.M.; ALCANTARA, E.; FREITAS, A.S. Adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v.15, n.1, p.825-841, 2017.
- RAMIRES, R.V.; BRASIL, M.S.; LIMA, S.F.; SIMON, C.A.; ALVAREZ, R.C.F.; CONTARDI, L.M. Inoculação com rizóbio associado ao manejo de nitrogênio em feijão comum. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v.14, n.1, p.49-57, 2018.
- REIS JUNIOR, F.B.; MENDES. I.C.; REIS. V.M.; HUNGRIA, M. Fixação Biológica de Nitrogênio: uma revolução na agricultura. In: GALAPE, F.; ROCHA, S. **Biotecnologia: estado de arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011. 247p.
- ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. **Seja o doutor do seu feijoeiro**. Informações Agrônomicas, Piracicaba: Potafos, v.68, p.1-16, 1994. (Encarte)
- ROSOLEM, C.A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: Potafos, 1987. 93p. (Boletim Técnico, 8)
- SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado por pivô central. In: **Seminário de Quimigação**, Barreiras, 1997. p.25-34.
- SALES, L.Z.S. **Momentos de reinoculação de *Rhizobium tropici* no feijoeiro na implantação de sistema plantio direto**. 2020. 63p. Dissertação (Mestrado) – Sistemas de Produção, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020.
- SANTANA, M.V., SILVA FERREIRA, B., SANTOS, T.T.M., OLIVEIRA SILVA, J., TAVARES, C.J.; DORNELLES, M.S. Redução da adubação nitrogenada em cobertura de feijoeiro com *Rhizobium tropici*. **Global Science and Technology**, v.11, n.2, p.88-100, 2018.
- SANTOS, F.A.S.; LIMA, A.R. Características produtivas de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no município de Cáceres-MT. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n.21, p.408, 2015.

- SILVA, F.C.; MELO, G.S.; PEREIRA, H.S.; MELO, L.C. Genetic control and estimation of genetic parameters for seed-coat darkening of carioca beans. **Genet Mol**, v.13, p.6486–6496, 2014.
- SILVA NETO, M.L.; SMIDERLE, O.J.; SILVA, K.; FERNANDES JÚNIOR, P.I.; XAVIER, G.J.; ZILLI, J.E. Compatibilidade do tratamento de sementes de feijão-caupi com fungicidas e inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.1, p.80-87, 2013.
- SILVA O.F.; WANDER A.E. **Feijão-Comum no Brasil - Passado, Presente e Futuro**. 1.ed (versão eletrônica). Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 63p.
- SILVA, J.A.L.; NEVES, J.A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.3, p.702-713, 2011.
- SILVA E.F.; MARCHETTI, M.E.; DE SOUZA, L.C.F.; MERCANTE, F.M.; RODRIGUES, E.T.; VITORINO, A.C.T. Inoculação do feijoeiro com *Rhizobium tropici* associada a exsudato de Mimosa flocculosa com diferentes doses de nitrogênio. **Bragantia**, v.68, n.2, p.443-451, 2009.
- SILVA JUNIOR, C.; SASSON, S. **Biologia- genética, evolução e ecologia**. 7.ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2005. 480p.
- SORATTO, R.P.; FERNANDES, A.M.; PILON, C.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, E. Épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro cultivado após milho solteiro ou consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.10, p.1351-1359, 2013.
- SOUSA, W.S. **Resposta morfológica e aspectos agronômicos do feijoeiro à reinoculação via cobertura**. 2020. 44p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, 2020.
- SOUSA, M.B.; DAMASCENO-SILVA, K.J.; ROCHA, M.M.; MENEZES JÚNIOR, J.A.N.; LIMA, L.R.L. Adaptability and yield stability of cowpea elite lines of semiprostrate growth habit in the cerrado biome. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.5, p.832-839, 2017.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.283-315.
- SOUZA, L.G.M. **Otimização da fixação biológica de nitrogênio na soja em função da reinoculação em cobertura sob plantio direto**. 2016, 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.
- SOUZA, R.A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CHUEIRE, L.M.O.; BARCELLOS, F.G.; CAMPO R. J. Avaliação qualitativa e quantitativa da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.1, p.71-82, 2008.
- STRALIOTTO, R. **A importância da inoculação com rizóbio na cultura do feijoeiro**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal** Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.

TEIXEIRA, I.R.; LOPES, P.R.; SOUSA, W.S.; TEIXEIRA, G.C.S. Response of common bean to Rhizobium reinoculation in topdressing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, n.4, p.274-282, 2022.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G.(ed). **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed.rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F.(ed.). **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 110p.

VALADAO, F.C. A.; JAKELAITIS, A.; CONUS, L.A.; BORCHARTT, L.; OLIVEIRA, A.A.; VALADAO JUNIOR, D.D. Inoculação das sementes e adubações nitrogenada e molibdica do feijoeiro-comum, em Rolim de Moura, RO. **Acta amazônica**, v.39, n.4, p.741-748, 2009.

VIEIRA, R.F.; TSAI, S.M.; TEIXEIRA, M.A. Nodulação e fixação simbiótica de nitrogênio em feijoeiro com estirpes nativas de rizóbio, em solo tratado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.10, p.1047-1050, 2005.

WUTKE, E.B.; CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; ESTEVES, J.A.F.; ITO, M.F.; STEIN, C.P.; BRUNINI, O.; GALLO, P.B. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: AGUIAR, A.T.E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; TUCCI, M.L.S.A.; CASTRO, C.E.F. (Eds). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Instituto Agrônomo, Campinas, 2014. p. 170-172.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.247-258, 2006.