

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

**NAYARA FERNANDA SIVIERO GARCIA**

**MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA ATRAVÉS DO CLOROFILÔMETRO  
PORTÁTIL NO FEIJÃO DE INVERNO COINOCULADO COM *Rhizobium tropici* E  
*Azospirillum brasilense***

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (SISTEMAS  
DE PRODUÇÃO)**

**NAYARA FERNANDA SIVIERO GARCIA**

**MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA ATRAVÉS DO  
CLOROFILÔMETRO PORTÁTIL NO FEIJÃO DE INVERNO  
COINOCULADO COM *Rhizobium tropici* E *Azospirillum brasilense***

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de  
Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Doutora em Agronomia.  
Especialidade: Sistemas de Produção

Orivaldo Arf  
**Orientador**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G216m Garcia, Nayara Fernanda Siviero.  
Manejo da adubação nitrogenada através do clorofilômetro portátil no  
feijão de inverno coinoculado com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* /  
Nayara Fernanda Siviero Garcia. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021  
104 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia  
de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2021

Orientador: Orivaldo Arf  
Inclui bibliografia

1. Phaseolus vulgaris L. . 2. Nitrogênio. 3. Coinoculação. 4. Teor de clorofila.  
5. Sistema plantio direto. 6. Economia de fertilizante.

  
Raiane da Silva Santos  
Supervisora Técnica de Seção

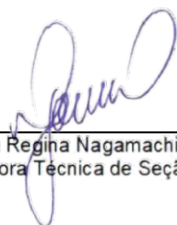
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação  
CBB-8 - 9999

## ATESTADO DE APROVAÇÃO - DEFESA

Atestamos que **NAYARA FERNANDA SIVIERO GARCIA**, RA nº: AGR170021, RG nº 48.320.614-3, expedido pela SSP/SP, defendeu, no dia 02/03/2021, a tese intitulada **Manejo da Adubação nitrogenada através do clorofilômetro portátil no feijão de inverno coinoculado com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense***, junto ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, Curso de Doutorado, tendo sido 'APROVADA'.

Atestamos ainda que a obtenção do título dependerá de homologação pelo Órgão Colegiado competente.

Ilha Solteira, 02 de março de 2021



---

Márcia Regina Nagamachi Chaves  
Supervisora Técnica de Seção – STPG

## **DEDICO**

Aos meus amados avós e padrinhos, Neuza e Durvalino Siviero, por tantos ensinamentos, amor, carinho e apoio, vocês são meu exemplo de vida. Ao meu irmão Antônio Garcia Neto, pela amizade e incentivo.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me permitir essa oportunidade e conclusão de mais uma etapa de minha vida, por me dar forças e sabedoria e me guiar no caminho do amor. Gratidão pelas pessoas que cruzaram meu caminho durante toda minha trajetória, pela chance que tive de aprender com elas, de sua estima e deixar um pouco do meu afeto.

Agradeço à minha família, meus pais Jovenil Garcia e Nilcéia Siviero, por serem a base de minha educação, por tanto amor, incentivo e confiança dedicados a mim, além de me oferecerem a oportunidade de estudar e sempre estarem presentes e me apoiarem. Ao meu irmão e melhor amigo “Neto Garcia”, pela intensa participação, instigação e suporte nos momentos mais difíceis e alegres, sou grata pela sua amizade e pela nossa irmandade.

Ao Prof. Dr. Orivaldo Arf, pela orientação e amizade durante toda a graduação, mestrado e doutorado, que há 10 anos vem sendo um grande exemplo para mim de profissional trabalhador, dedicado e acima de tudo pessoa honrosa e de bem. Sou muito feliz e abençoada pela oportunidade de tê-lo como orientador e amigo e estará sempre em meu coração, com carinho de um pai.

Aos membros da banca de qualificação Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho e a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Raissa Pereira Dinalli e aos membros da banca de defesa Prof. Dr. Marco Eustáquio de Sá, Prof. Dr. Salatier Buzetti, Prof. Dr. Leandro Borges Lemos e ao Prof. Dr. Matheus Gustavo da Silva, pelas considerações e sugestões feitas ao trabalho.

Aos amigos, Flávia Meirelles, Alex Rangel, José Portugal, Amanda Peres Portugal, Fernando Buzo, Lucas Garé, Anderson Teruo, Daiene Corsini, Juliana Martins, Letícia Zylmennith, Pedro Giova, Thais Lana Lobo e todos da “Equipe Arf” pelo auxílio na condução e avaliação do experimento, além do companheirismo e amizade conquistados na vivência diária e de campo.

Aos amigos conquistados durante o caminho, especialmente as amigas Flávia Meirelles, Gabriela Tedeschi, Giseli Lima, Mariele Penteado, Mayara Rodrigues, Natalina Pereira, Patrícia Santiago, Poliana Rosa, Raíssa Pereira Dinalli e Rosemary Samartino. Cada uma delas se fez presente em momentos especiais de minha vida, confirmando que “a amizade só faz sentido se traz o céu para mais perto”.

Aos professores do curso de pós-graduação em Agronomia – Sistemas de Produção da UNESP – Ilha Solteira, pelos ensinamentos, amizade, sugestões e principalmente, pelo exemplo e inspiração, serão sempre lembrados com carinho e admiração. Especialmente ao professor Dr. Omar Sabbag, pelo auxílio e intensa assistência no artigo de análise econômica.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação, da Biblioteca, da Seção Técnica de Apoio, Ensino, Pesquisa e Extensão, aos funcionários do laboratório de Análise de Plantas do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia e da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da FEIS/UNESP, pelo auxílio, amizade e dedicação.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Campus de Ilha Solteira, pela estrutura física, todo suporte e oportunidade de realização desta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa de estudo e apoio financeiro.

“Irmãos, quanto a mim, não julgo que haja alcançado a perfeição, mas uma coisa faço, e é que, esquecendo-me das coisas que atrás ficam, avanço para as que se encontram diante de mim”.

(Paulo – FILIPENSIS, 3:13)

## RESUMO

A estimativa da necessidade de nitrogênio (N) por meio da leitura indireta de clorofila com o uso do clorofilômetro portátil e a coinoculação de bactérias fixadoras de N são alternativas promissoras no aumento da produtividade de grãos associadas à redução de aplicação de fertilizante nitrogenado em cobertura. Assim, objetivou-se avaliar o manejo da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro de inverno por meio do uso do clorofilômetro portátil e a eficiência de bactérias fixadoras de nitrogênio em associação com a cultura. O experimento foi realizado no município de Selvíria, MS, Brasil, nos anos de 2016, 2017 e 2018, em área de sistema plantio direto consolidado. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, argiloso. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, dispostos em esquema de faixas, com ou sem inoculação de sementes com *Rhizobium tropici* e os tratamentos foram constituídos pela combinação de 7 manejos de fertilização com N [**M1**: 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 80 kg ha<sup>-1</sup>, aos 10 dias após emergência (DAE) + 80 kg ha<sup>-1</sup>, aos 20 DAE (tratamento referência); **M2**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 40 kg ha<sup>-1</sup>, aos 10 DAE + 40 kg ha<sup>-1</sup>, aos 20 DAE (dose recomendada); **M3**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar (estádio V<sub>4</sub>) + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam índice de suficiência de nitrogênio (ISN) ISN < 90%; **M4**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; **M5**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; **M6**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; **M7**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura (testemunha, sem aplicação de N em cobertura)]. Concluiu-se que o monitoramento mediante leituras indiretas do teor de clorofila é eficiente para a indicação do momento de aplicação e da exigência de N em cobertura na cultura do feijoeiro comum, visto a correlação do índice de clorofila foliar, com a concentração de N e produtividade de grãos; O uso do *Rhizobium tropici* no feijoeiro auxilia na fixação de nitrogênio e no fornecimento às plantas, não diferindo da produtividade de grãos com uso de 160 kg ha<sup>-1</sup>, possibilitando a redução do uso de adubos minerais nitrogenados; Apesar dos benefícios do *Azospirillum brasilense* via foliar, os efeitos podem não ser visualizados em solos com boa fertilidade; A economia com nitrogênio em cobertura, pelo manejo com clorofilômetro e uso de bactérias diazotróficas, possibilitou altas produtividades de grãos de feijão, com redução dos custos em comparação ao uso de N em cobertura, consequentemente, proporciona maior lucratividade.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Nitrogênio. Coinoculação. Teor de clorofila. Sistema plantio direto. Economia de fertilizante.

## ABSTRACT

The estimation of the need for nitrogen (N) through indirect chlorophyll reading with the use of a portable chlorophyll meter and the co-inoculation of N-fixing bacteria are promising alternatives in increasing grain productivity associated with reduced application of nitrogen fertilizer in cover. Thus, the objective was to evaluate the management of nitrogen fertilization in cover on winter beans (*Phaseolus vulgaris* L.) through the use of a portable chlorophyll meter and the efficiency of nitrogen-fixing bacteria in association with the crop. The experiment was conducted in Selvíria, MS, Brazil, in the years 2016, 2017 and 2018, in an area of consolidated no-tillage system. The local soil is classified as a typical clayey dystrophic red Latosol (Oxisol). The experimental design was in randomized blocks, with four repetitions, arranged in a strip pattern, with or without seed inoculation with *Rhizobium tropici* and the treatments consisted of a combination of 7 managements of N fertilization [**M1**: 40 kg ha<sup>-1</sup> of N at sowing + 80 kg ha<sup>-1</sup> at 10 days after emergence (DAE) + 80 kg ha<sup>-1</sup> at 20 DAE (reference treatment); **M2**: 20 kg ha<sup>-1</sup> of N at sowing + 40 kg ha<sup>-1</sup> at 10 DAE + 40 kg ha<sup>-1</sup> at 20 DAE (recommended dose); **M3**: 20 kg ha<sup>-1</sup> of N at sowing + foliar application of *Azospirillum brasilense* + 20 kg ha<sup>-1</sup> of N when chlorophyll meter readings indicated N sufficiency index (NSI) < 90%; **M4**: 20 kg ha<sup>-1</sup> of N at sowing + foliar application of *Azospirillum brasilense* + 30 kg ha<sup>-1</sup> of N when chlorophyll meter readings indicated NSI < 90%; **M5**: 20 kg ha<sup>-1</sup> of N at sowing + 20 kg ha<sup>-1</sup> of N when chlorophyll meter readings indicated NSI < 90%; **M6**: 20 kg ha<sup>-1</sup> of N at sowing + 30 kg ha<sup>-1</sup> of N when chlorophyll meter readings indicated NSI < 90%; **M7**: 20 kg ha<sup>-1</sup> of N at sowing (control, without top-dressing N application)]. It was concluded that the monitoring through indirect readings of the chlorophyll content is efficient to indicate the moment of application and the N requirement in coverage in the common bean culture, considering the correlation of the leaf chlorophyll index, with the concentration of N and grain yield; The use of *Rhizobium tropici* in beans can help fix nitrogen and provide it to plants, not differing from productivity with the use of 160 kg ha<sup>-1</sup>, making it possible to reduce the use of nitrogenous mineral fertilizers; The economy with nitrogen fertilization in coverage, by handling with chlorophyll meter and use of diazotrophic bacteria, enabled high grain yields of winter beans, with reduced costs compared to the use of N in coverage, consequently, provides greater profitability.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L. Nitrogen. Coinoculation. Chlorophyll content. No-tillage system. Fertilizer savings.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Página</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>RESUMO.....</b>                                                                                                                                                                                                                        | 9             |
| <b>1      CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>                                                                                                                                                                                     | 13            |
| 1.1    INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                                                                                    | 13            |
| 1.2    REVISÃO DE LITERATURA.....                                                                                                                                                                                                         | 15            |
| 1.2.1 <i>A cultura do feijão.....</i>                                                                                                                                                                                                     | 15            |
| 1.2.2 <i>Adubação nitrogenada no feijoeiro.....</i>                                                                                                                                                                                       | 16            |
| 1.2.3 <i>Manejo da adubação com clorofilômetro por meio do ISN.....</i>                                                                                                                                                                   | 19            |
| 1.2.4 <i>Coinoculação com <i>Rhizobium tropici</i> e <i>Azospirillum brasilense</i> .....</i>                                                                                                                                             | 20            |
| REFERÊNCIAS.....                                                                                                                                                                                                                          | 22            |
| <b>2      CAPÍTULO 2 – Redução da adubação nitrogenada em cobertura no<br/>feijão de inverno com manejo do clorofilômetro portátil e bactérias<br/>diazotróficas.....</b>                                                                 | 29            |
| RESUMO.....                                                                                                                                                                                                                               | 29            |
| 2.1    INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                                                                                    | 30            |
| 2.2    MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                                                                                                            | 31            |
| 2.3    RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                                                                                                                                                                                        | 37            |
| 2.4    CONCLUSÕES.....                                                                                                                                                                                                                    | 51            |
| REFERÊNCIAS.....                                                                                                                                                                                                                          | 52            |
| <b>3      CAPÍTULO 3 - Eficiência do monitoramento com o clorofilômetro<br/>portátil nas concentrações de nutrientes foliares e manejo da adubação<br/>nitrogenada em cobertura em feijão de inverno inoculado com<br/>bactérias.....</b> | 56            |
| RESUMO.....                                                                                                                                                                                                                               | 56            |
| 3.1    INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                                                                                    | 57            |
| 3.2    MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                                                                                                            | 59            |
| 3.3    RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                                                                                                                                                                                        | 63            |
| 3.4    CONCLUSÕES.....                                                                                                                                                                                                                    | 74            |
| REFERÊNCIAS.....                                                                                                                                                                                                                          | 74            |

|          |                                                                                                                                                                  |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>CAPÍTULO 4 - Análise econômica do uso do clorofilômetro e de bactérias diazotróficas no manejo da adubação nitrogenada no feijão de inverno irrigado.....</b> | <b>78</b> |
|          | RESUMO.....                                                                                                                                                      | 78        |
| 4.1      | INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                  | 79        |
| 4.2      | MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                                          | 80        |
| 4.3      | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                                                                                                                      | 85        |
| 4.4      | CONCLUSÕES.....                                                                                                                                                  | 93        |
|          | REFERÊNCIAS.....                                                                                                                                                 | 93        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                                                                                                 | <b>97</b> |
|          | ANEXOS.....                                                                                                                                                      | 98        |

## 1.1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos de maior importância nacional e a garantia de sua produção faz parte de um dos princípios da segurança alimentar, juntamente com a cultura do arroz. No Brasil pode ser cultivado em três safras nas diversas regiões do país, por produtores de diferentes perfis desde altas tecnologias até agricultores familiares.

O cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto tem aumentado no país, devido aos inúmeros benefícios que esse sistema proporciona às características físicas, químicas e biológicas do solo e apresenta grande destaque na composição de sistemas agrícolas na região Centro-Sul do Brasil (SORATTO *et al.*, 2013).

Altas produtividades de feijão dependem da fertilização com nutrientes minerais, com destaque para o nitrogênio (N) que é o nutriente mais requerido para o desenvolvimento da cultura. A suplementação com N em cobertura é uma prática comumente realizada no feijoeiro por produtores que usufruem de conhecimentos práticos e, muitas vezes por observações da tonalidade da coloração verde das plantas, o que pode sub ou superestimar a dose adequada a ser utilizada para garantir altas produtividades da grãos.

Nesse sentido, o clorofilômetro portátil tem sido usado com sucesso por vários pesquisadores no monitoramento do N para a determinação da época mais adequada de aplicação deste nutriente em diversas culturas, incluindo a cultura do feijão (MAIA *et al.*, 2017).

A leitura do clorofilômetro permite estimar de maneira prática, rápida e não destrutiva a concentração de clorofila das folhas, a qual se relaciona com o teor de N foliar, pois este nutriente é um dos principais elementos da estrutura molecular da clorofila (TAIZ *et al.*, 2017). Uma forma de normalizar as leituras do Índice Relativo de Clorofila (IRC) é a determinação do Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN), que é calculado pela média das leituras do clorofilômetro em amostras de uma área a ser adubada com N, dividida pela média das leituras de uma área Referência fertilizada com alta concentração de N (MAIA *et al.*, 2012; SILVEIRA; GONZAGA, 2017).

Considerando, também, a crescente busca por sustentabilidade nos sistemas agrícolas de produção, uma alternativa para a economia da adubação mineral nitrogenada é a fixação biológica de nitrogênio (FBN), que pode suplementar ou, até mesmo, substituir a utilização desses fertilizantes com o uso de bactérias fixadoras de N e promotoras do crescimento de plantas (BPCP) (BALDANI; BALDANI, 2005).

Além do gênero Rizóbio ou *Rhizobium* outro grupo muito promissor é representado por bactérias associativas capazes de promover o incremento na produtividade de grãos por meio

de vários processos, atuando na nutrição, proteção e estímulo de crescimento de plantas, como o *Azospirillum brasilense*, que se destaca na produção de fitormônios e tem sido amplamente estudado em leguminosas (HUNGRIA *et al.*, (2015).

Diante do exposto é oportuno o manejo adequado da adubação nitrogenada na cultura do feijão, mediante o uso do medidor portátil de clorofila foliar, para produtores determinarem a época e a necessidade de aplicação de N em cobertura, bem como, a utilização de biotecnologias com bactérias diazotróficas, que em associação com a cultura são capazes de fixar N, além de propiciar melhorias no desenvolvimento e incremento na produtividade de grãos da cultura e redução no uso desses fertilizantes, visando a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Neste sentido, as hipóteses testadas foram:

- O uso do *Rhizobium tropici* no feijão pode auxiliar na fixação de nitrogênio atmosférico e fornecê-lo às plantas, possibilitando a redução do uso de adubos minerais nitrogenados;
- A bactéria *Azospirillum brasilense* pode auxiliar no desenvolvimento do sistema radicular do feijão e quando em associação com o *Rhizobium tropici* maximizar o fornecimento de nitrogênio para o feijão;
- O monitoramento de leituras indiretas do teor de clorofila em folhas mais velhas pode ser preciso para a indicação do momento de aplicação e da exigência de N em cobertura na cultura do feijão comum;
- A economia com adubação nitrogenada de cobertura, por meio do manejo com clorofilômetro e uso de bactérias diazotróficas, possibilitam redução dos custos e, consequentemente, maior lucro ao produtor.

O objetivo do trabalho foi avaliar o manejo e viabilidade econômica da adubação nitrogenada de cobertura no feijão de inverno utilizando o clorofilômetro portátil e a eficiência de bactérias fixadoras de nitrogênio em associação com a cultura.

Esta tese, está estruturada em 05 capítulos, iniciando-se com as considerações gerais do trabalho no primeiro capítulo, no qual é apresentado o referencial teórico necessário para compreender a cultura e os temas abordados. Na sequência, tem-se o Capítulo 2 com as características agrônômicas e dados de produtividades de grãos observados. No Capítulo 3 são apresentados os resultados inerentes à nutrição das plantas em relação aos manejos de adubação, concentração dos macros e micronutrientes foliares e correlação com as leituras de clorofila foliar. No Capítulo 4 encontra-se a análise econômica e viabilidade dos manejos utilizados no presente trabalho, apresentando os custos e benefícios da redução da adubação nitrogenada e

uso de bactérias. E por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais observadas para conclusão da tese.

## 1.2 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.2.1 A cultura do Feijão

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das leguminosas mais importantes para consumo humano, com elevado teor de proteína, está entre as culturas mais consumidas em todo o mundo (BROUGHTON *et al.*, 2003). Apresenta elevado teor de proteínas nos grãos (em média de 22 a 29%), alto teor de lisina, elevados teores de carboidratos e a presença de vitaminas do complexo B, sendo ótima fonte de alimento (SORATO *et al.*, 2011).

As plantas são herbáceas, de ciclo anual e podem ser definidas, de acordo com seu hábito de crescimento, em tipo I (hábito de crescimento determinado arbustivo, caracterizadas pelo término do caule por uma inflorescência), tipo II (hábito de crescimento indeterminado, existindo na extremidade do caule um meristema vegetativo, que permite a continuidade do crescimento, formando mais nós e entrenós, podendo ter hábito de crescimento indeterminado arbustivo), tipo III (hábito indeterminado prostrado), ou tipo IV (indeterminado trepador) (FERNANDÉZ *et al.*, 1985).

O Brasil está entre os maiores produtores mundiais dessa leguminosa, ocupando a terceira posição, juntamente com Myanmar, Índia, Estados Unidos, México e China, responsáveis por 15,8 milhões de toneladas, responsáveis por mais de 68% da produção mundial de feijão (FAOSTAT, 2017).

De acordo com o levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), a cultura do feijão no país (safra 2019/2020) ocupou uma área cultivada de 3,17 milhões de hectares na safra e produção nacional estimada de 3,23 milhões de toneladas, sendo a maior produtora a região sul, que domina 29% da produção nacional de feijão. Desse total produzido, 2 milhões de toneladas são de feijão-comum cores, 712,6 mil toneladas de feijão-caupi e 509,5 mil toneladas de feijão-comum preto.

Em termos agronômicos, o feijoeiro apresenta ciclo curto e retorno econômico rápido, tornando-se uma ótima opção para ser cultivado em sistema plantio direto (SPD) como rotação/sucessão de culturas (FLÔRES *et al.*, 2017). Nos últimos anos, tem aumentado o cultivo do feijão em SPD, sem que se saiba as suas exigências nutricionais quando cultivado em solo sob SPD recém-implantado ou consolidado, por diferentes períodos de tempo, já que isso pode

alterar a disponibilidade de nutrientes e a resposta das culturas à adubação nitrogenada (PEREZ *et al.*, 2013).

Dentro desse sistema, o acúmulo de palhada sobre o solo favorece a ciclagem de nutrientes, a agregação do solo, o armazenamento da água e a manutenção da matéria orgânica do solo (MOS), consequentemente, melhorias na fertilidade (BOER *et al.*, 2007; CRUSCIOL; SORATTO, 2010).

De acordo com Silva e Silveira (2000), em razão do feijoeiro ser uma planta de ciclo curto e altamente exigente, necessita que os nutrientes estejam prontamente disponíveis nos estádios de demanda, para que não haja limitação da produtividade.

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do feijão, especialmente devido ao seu ciclo curto e aos altos teores exportados pelos grãos, atingindo cerca de 50% do total de N absorvido pelas plantas (SANTOS; SILVA, 2002). Quando fornecido na dose recomendada, promove rápido crescimento das plantas, aumenta a folhagem e o teor de proteínas nas sementes e favorece microrganismos do solo responsáveis pela decomposição de matéria orgânica, além de incrementar o teor de matéria seca, que é importante durante todo o ciclo, especialmente nas fases de floração e enchimento de grãos (MALAVOLTA, 1979).

Pesquisas que visem aumentar eficiência de uso e responsividade das lavouras ao nitrogênio são muito importantes. Sendo assim, Leal *et al.* (2019) comprovaram que os fatores, doses de N e cultivares, influenciaram o acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro em R<sub>9</sub>, e a cultivar BRS Estilo foi responsiva, sendo que essas respostas dependem de processos morfofisiológicos e bioquímicos que afetam a absorção, assimilação de compostos orgânicos, mobilização e redistribuição do nutriente nos órgãos vegetais (FAGERIA; MELO; OLIVEIRA, 2013; FAGERIA *et al.*, 2014).

A propriedade de fixar o nitrogênio da atmosfera também é uma peculiaridade do feijoeiro, por ser do grupo das leguminosas, quando em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, podendo contribuir para a redução no uso de fertilizantes nitrogenados. No entanto, essa disponibilidade de nitrogênio pelas bactérias não supre toda a necessidade das plantas de feijão (PELEGRIN *et al.*, 2009).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é uma simbiose importante para se fixar o N da atmosfera, sendo crucial do ponto de vista agrícola, pois os fertilizantes a base de nitrogênio produzidos industrialmente apresentam custos econômicos e ambientais (TAIZ *et al.*, 2017).

### **1.2.2 Adubação nitrogenada no feijoeiro**

O feijão comum é exigente em nutrientes e apesar de ser uma planta de ciclo curto, requer grandes quantidades de nutrientes para alcançar altas produtividades nas condições de solo do Cerrado (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2000). Dentre eles, o nitrogênio é um dos principais determinantes da alta produtividade de grãos e da lucratividade na cultura do feijão, portanto requer fertilização bem manejada (RAPASSI *et al.*, 2003; SILVEIRA; BRAZ; DIDONET, 2003; SORATTO *et al.*, 2014).

O nitrogênio além de ser o nutriente exigido em maior quantidade, é o que tem o manejo e a recomendação de adubação mais complexa, observando frequentemente a sua deficiência (OLIVEIRA *et al.*, 1996). Além disso, é necessário dar ênfase a este nutriente pelo aumento do custo dos adubos nitrogenados, que onera os custos de produção, também pelos possíveis efeitos negativos e impactos ambientais, do excesso de nitrato nos mananciais. (SABUNDJIAN *et al.*, 2014).

O N é absorvido pelos vegetais superiores nas formas de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e o conteúdo de N requerido para o máximo desenvolvimento varia de 2% a 5% da matéria seca da planta (MARSCHNER, 1995). Apesar da capacidade do feijoeiro fixar o N atmosférico, por simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, a quantidade do nutriente suprida por esse processo é, em geral, insuficiente para a cultura atingir elevadas produtividades, fazendo-se necessário a suplementação com N mineral (BRITO *et al.*, 2011).

Geralmente, as recomendações para a aplicação da adubação nitrogenada, são baseadas em curvas de resposta da planta ao N, obtidas em experimentos de campo, em que os dados de produtividade de grãos, absorção de N ou acúmulo de matéria seca pela planta são ajustados a equações matemáticas, que expressam a resposta da planta ao nutriente. Ainda, podem ser feitas através da prática da observação de plantas atrofiadas e folhas com coloração entre verde pálido a amarelada, que se inicia pelas folhas mais velhas e relaciona-se com a participação do N na estrutura da molécula de clorofila (OLIVEIRA *et al.*, 1996).

Usualmente, as recomendações de adubação nitrogenada em cobertura para o feijoeiro, sugerem ainda a aplicação do N em dose única na presença do terceiro trifólio ( $V_4$ ) (AMBROSANO *et al.*, 1997). Segundo essa recomendação, o feijão comum requer pelo menos  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de N de fertilizantes nitrogenados, áreas com uma alta classe de resposta ao nitrogênio, dependendo do histórico da área.

As exigências de elementos minerais das plantas variam à medida que se desenvolvem, portanto, os níveis de nutrientes em determinados estádios de crescimento influenciam a produtividade de grãos, assim como ocorre com o N. Para otimizar os rendimentos, os

agricultores usam análises dos níveis de nutrientes no solo e nos tecidos vegetais, a fim de determinar o calendário de fertilizações (TAIZ *et al.*, 2017).

Soratto *et al.* (2005) afirmaram que a aplicação de N em cobertura no feijoeiro comum em SPD, é mais eficiente em estádios mais iniciais ( $V_4$ ) que em estágio tardio ( $R_7$ ), também concluíram que aplicações nos dois estádios aumentou do teor de proteína dos grãos.

A fertilização com N em SPD merece atenção e não deve ser considerada semelhante à utilizada em sistemas convencionais mais adequada, uma vez que os processos de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais variam com o tipo de palha utilizada (FLORÊS *et al.*, 2017). Estudos em função do sistema de cultivo do feijoeiro são necessários, visando reduzir as perdas por imobilização de N no solo e proporcionar o suprimento de N em períodos críticos de absorção pelas lavouras, melhorando as características agronômicas e, consequentemente, produtividades (SORATTO *et al.*, 2006 e 2013; FARINELLI, LEMOS, 2010; MINGOTTE *et al.*, 2014).

O processo de mineralização do N dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo em SPD ou até mesmo o processo de fixação simbiótica do  $N_2$  atmosférico, sob condições ambientais adequadas, podem atender parte das necessidades de N do feijoeiro, mediante associação com bactérias do gênero *Rhizobium* (SOARES *et al.*, 2006).

No início do SPD, a imobilização de nutrientes e matéria orgânica no solo tende a ser maior que a mineralização, no entanto, com o passar do tempo, se altera e ocorre aumento da taxa de mineralização. Essas características do sistema podem interferir na produtividade das culturas e na eficiência agrônômica da adubação, especialmente no caso de espécies pouco eficientes na fixação biológica do nitrogênio, como o feijoeiro (Siqueira Neto *et al.*, 2010; BRITO *et al.*, 2011; AMARAL, *et al.*, 2016).

Assim, por não existir ainda um método laboratorial que permita avaliar satisfatoriamente a capacidade do solo em fornecer nitrogênio às plantas, dada à complexidade e às interações entre os processos de transformação do nutriente no solo e as condições climáticas, torna-se difícil prever a necessidade de adubação nitrogenada para uma dada cultura, sendo a recomendação de N determinada pela da curva de resposta da planta às doses de N (SILVEIRA; BRAZ; DIDONET, 2003).

De acordo com Fageria e Baligar (2005), para melhorar a eficiência do N na agricultura, são necessárias estratégias integradas de manejo de N que levem em consideração fertilizantes aprimorados junto com o solo e práticas culturais. Visando o manejo dessa adubação nitrogenada na cultura do feijão, o uso do clorofilômetro portátil pode ser uma ferramenta muito útil para a determinação do Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN) e manejo da adubação

nitrogenada no feijoeiro, segundo Silveira e Ferreira (2016) o ISN permite determinar se a planta de feijão está suprida de nitrogênio seja proveniente da fixação biológica ou da adubação nitrogenada.

### **1.2.3 Manejo da adubação com clorofilômetro por meio do ISN**

O clorofilômetro é um aparelho portátil, que de forma não destrutiva, fornece leituras instantâneas e indiretas do índice relativo de clorofila (IRC), avalia os teores de clorofila na folha e são comumente utilizados para a estimativa das concentrações de nitrogênio, uma vez que esse elemento tem fortes correlações com a clorofila (DWYER *et al.*, 1995; SILVEIRA; BRAZ; DIDONET, 2003; SORATTO; CARVALHO; ARF, 2004; BARBOSA FILHO *et al.*, 2008 e 2009). Esta relação se deve ao fato de que 50% a 70% do N total das folhas ser integrante de enzimas que estão associadas ao cloroplasto (CHAPMAN; BARRETO, 1997).

O princípio de funcionamento é simples e baseia-se no uso de ondas que emitem luz na faixa de 650 a 940 nm através da folha (transmitância). Portanto, mede a diferença de atenuação da luz entre 650 e 940 nm como um índice de intensidade de cor ou de concentração de clorofila, expressa como IRC (YADAVA, 1986).

Outra vantagem do clorofilômetro é que a leitura do conteúdo de clorofila que indica adequado nível de N (ou valor crítico) não é afetada pelo consumo de luxo, sob a forma de nitrato que o N quando absorvido em excesso se acumula nas folhas. Nesta forma, o N não se associa à molécula de clorofila e, portanto, não pode ser quantificado pelo medidor de clorofila (BLACKMER; SCHEPERS, 1995; DWYER *et al.*, 1995).

Devido à correlação do teor de clorofila com o N, usar o clorofilômetro para monitorar a cor verde da folha durante todo o período de crescimento da cultura permite a detecção da deficiência inicial de N, sendo possível corrigi-la antes que essa possa causar redução de produtividade (DWYER *et al.*, 1994; BLACKMER; SCHEPERS, 1995; ROCHA *et al.*, 2005; SHAPIRO *et al.*, 2006).

Desse modo, estudos com clorofilômetro portátil vêm sendo realizados para monitoramento do teor de N e manejo da adubação nitrogenada, e apresentam viabilidade em diversas culturas, como milho (BLACKMER; SCHEPERS, 1995), arroz (POCOJESKI *et al.*, 2000), aveia (COELHO *et al.*, 2018), batata (FERNANDES *et al.*, 2021) e feijoeiro-comum (BARBOSA FILHO *et al.*, 2008; BARBOSA FILHO *et al.*, 2009; MAIA *et al.*, 2012, 2013, 2017; SILVEIRA; FERREIRA, 2016; SILVEIRA; GONZAGA, 2017; SILVEIRA *et al.*, 2017; FILLA *et al.*, 2020).

Para isso, é necessário normalizar as leituras (utilizando as mesmas cultivares, ambientes de produção e condições edafoclimáticas) e se estabelece de uma área referência, com elevada adubação nitrogenada, a fim de evitar deficiências de N, sendo indicada a aplicação 1,8 e 2,0 vezes a dose recomendada para a cultura (BLACKMER; SCHEPERS, 1994; HUSSAIN *et al.*, 2000; BARBOSA FILHO *et al.*, 2009).

Barbosa Filho *et al.* (2008) observaram que a partir do florescimento as plantas de feijão do tratamento testemunha apresentavam tonalidade verde mais intenso, resultando em valores de IRC muito próximos às leituras observadas nas parcelas adubadas com N e relataram que esse fato ocorreu em função da mineralização do N contido nos resíduos vegetais. Maia *et al.* (2012) verificaram que na fase inicial de crescimento do feijoeiro na safra “das águas”, os valores dos IRC do tratamento sem aplicação de N (testemunha) encontravam-se abaixo das leituras obtidas nas parcelas adubadas, porém, a partir dos 50 DAE, o tratamento testemunha apresentou valores de IRC muito próximos das leituras observadas nas parcelas adubadas com N.

Maia *et al.* (2012) também verificaram que utilização do ISN de 90%, calculado com base no monitoramento do IRC nas folhas com o clorofilômetro portátil, é mais eficiente que o de 95% para definir o momento quando se deve aplicar o N em cobertura no feijoeiro cultivar IAC Alvorada, possibilitando o uso de menores doses de N, com maior eficiência do fertilizante aplicado.

Em trabalho semelhante, Filla *et al.* (2020), avaliando o uso do clorofilômetro no manejo de fornecimento de N por meio do ISN<90% e inoculação com bactérias *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* via foliar, também concluíram que o uso de medidor portátil de clorofila é uma alternativa viável para monitoramento e manejo de N no feijoeiro, permitindo a redução da aplicação de N em cobertura, independente da cultivar utilizada (IPR Campos Gerais e IAC Imperador).

#### **1.2.4 Coinoculação com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense***

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) representa a forma mais importante de fixar o nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) em amônio e o ponto-chave do ingresso do N molecular no ciclo biogeoquímico desse elemento (TAIZ *et al.*, 2017).

Embora seja uma leguminosa capaz de realizar FBN por meio de associações com bactérias do gênero *Rhizobium*, essa simbiose com o feijoeiro ainda é insuficiente no fornecimento do nitrogênio, que consegue fixar de 20 a 30% do nitrogênio que a planta

necessita pela fixação biológica (MALAVOLTA, 1987), sendo imprescindível a aplicação de N via adubação mineral na semeadura e em cobertura (KANEKO et al., 2010).

Além dos rizóbios específicos para as leguminosas, outros microrganismos como, por exemplo, o grupo das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) por meio de vários processos, como a produção de hormônios de crescimento e a capacidade de realizar FBN, podem ser benéficas para as culturas. Dentre essas bactérias destacam-se as pertencentes ao gênero *Azospirillum* que há muito tempo é empregado como inoculante microbiano em todo o mundo para promover a produção de gramíneas. O *Azospirillum*, quando usado como inoculante, aumenta a produção de pelos da raiz e promovem crescimento radicular, o que de fato beneficia as plantas com melhor absorção de água e nutrientes (CASSÁN et al., 2008; HUNGRIA et al., 2013; KHAN; SAIF, 2017).

Sendo assim, a coinoculação ou também denominada de inoculação mista com bactérias simbióticas e assimbióticas torna-se uma alternativa que deve ser ainda mais estudada em leguminosas. Essa técnica consiste na utilização de combinações de diferentes microrganismos, os quais produzem efeito sinérgico, em que se superam os resultados produtivos obtidos quando utilizados na forma isolada (FERLINI, 2006; BÁRBARO et al., 2008).

O *Azospirillum* é bastante difundido na América do Sul, onde estudos sobre inoculação em várias culturas têm mostrado resultados positivos e variáveis, devido em parte às práticas de manejo da cultura e às condições ambientais. Além disso, inoculação combinada de *Azospirillum* com rizóbio em leguminosas (coinoculação) tem se tornado uma prática agrícola emergente nos últimos anos, principalmente para soja, apresentando alta reprodutibilidade e eficiência em condições de campo (CASSÁN et al., 2020).

Logo, nos casos em que se tem utilizado *Azospirillum brasilense* em leguminosas, o efeito benéfico da associação com rizóbio se deve, na maior parte, a capacidade que a bactéria tem de produzir fitormônios, que resulta em maior desenvolvimento do sistema radicular, e, portanto, a possibilidade de explorar um volume mais amplo de solo (BÁRBARO et al., 2008).

Cassán et al. (2020) salientaram que a contribuição da fixação de N nas plantas pelo *Azospirillum* é pequena (aumento de 5–18% no N total das plantas inoculadas); conseqüentemente, a promoção do crescimento das plantas foi induzida por outros mecanismos. Os autores reiteram que essas BPCP foram definidas, principalmente, pela produção de fitohormônios e conseguinte capacidade de melhorar o crescimento das plantas.

Os autores, Remans et al. (2008) e Yadegari et al. (2010) também afirmaram que a inoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* em plantas de feijão demonstram grande potencial para aumentar a nodulação e o crescimento dessas plantas.

Hungria *et al.* (2013), em estudo realizado na região Sul do Brasil, relataram aumento na produtividade de grãos de soja e feijão comum ao combinar a inoculação de sementes de rizóbio com a aplicação de *A. brasilense*. A coinoculação na soja resultou em aumento de 16,1%, usando *Bradyrhizobium* e *A. brasilense*. Para o feijoeiro, a inoculação única com *R. tropici* aumentou a produtividade em 8,3%, e a coinoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* em 19,6%.

Na cultura do feijão ainda devem-se realizar muitos estudos com a inoculação de *Azospirillum brasilense* para avaliar o efeito dessas bactérias, principalmente como bactérias promotoras de crescimento, uma vez que as respostas são bastante variáveis. Meirelles *et al.* (2014), ao analisar a coinoculação de e em feijão irrigado, observaram maior produtividade de grãos no tratamento com *Rhizobium tropici* na semente + duas doses de *Azospirillum brasilense* aplicado via foliar, além de proporcionar maior número e massa de nódulos na raiz principal e maior massa da parte aérea. Buzo *et al.* (2019), por outro lado, não verificaram efeito da aplicação foliar de *A. brasilense* em feijoeiro inoculado com *Rhizobium tropici* nas sementes.

Steiner *et al.* (2019) obtiveram resposta positiva da inoculação das sementes com *Rhizobium* e *Azospirillum* na produtividade de grãos quando a cultura foi cultivada durante a safra “da seca”, com estímulo especialmente da menor taxa de precipitação pluvial por estimular a nodulação das raízes, podendo ter resultados variáveis, depende das condições ambientais de condução da cultura.

Constata-se que o grande desafio da agricultura moderna sustentável consiste em maximizar a produtividade das lavouras sem aumentar os custos de produção, como no feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) que ainda apresenta baixas médias de produtividade de grãos. Isso, por sua vez, promove uma mentalidade de produção a todo custo, que pode exacerbar os desafios ambientais existentes, aumentando o uso de fertilizantes, pesticidas, irrigação e cultivo (HUNTER *et al.*, 2017).

Alimentar uma população crescente está em conflito com os esforços para conservar o habitat e os recursos naturais e de acordo com Rockström *et al.* (2017), a intensificação da agricultura sustentável tem como objetivo restaurar e manter o funcionamento do ecossistema em sistemas gerenciados e naturais.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, C. B.; PINTO, C. C.; FLÔRES, J. A.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B.; FORNASIERI FILHO, D. Produtividade e qualidade do feijoeiro cultivado sobre palhadas de

gramíneas e adubado com nitrogênio em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1602-1609, 2016. DOI : <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900060>. Disponível em:

[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2016000901602&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2016000901602&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 05 abr. 2021.

BÁRBARO, I. M.; BRANCALÃO, S. R.; TICELLI, M.; MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A. **Técnica alternativa**: co-inoculação de soja com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* visando incremento de produtividade. 2008. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2008\\_4/Coinoculacao/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/Coinoculacao/Index.htm) Acesso em: 05 abr. 2021.

BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1843-1848, 2008.

BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 425-431, 2009.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, n. 1, p. 56-60, 1995.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L. de; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L. de L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 2, p. 1269-1276, 2007.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 206-215, 2011. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87052011000100027](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052011000100027). Acesso em: 04 jan. 2021.

BROUGHTON, W.J.; HERNANDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S. GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 252, p. 55-128, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1024146710611>. Acesso em: 15 set. 2020.

CASSÁN, F.; SGROY, V.; PERRIG, D.; MASCIARELLI, O.; LUNA, V. Producción de fitohormonas por *Azospirillum* sp. Aspectos fisiológicos y tecnológicos de la promoción del crecimiento vegetal. In: CASSÁN, F. D.; SALAMONE, I. G. de (ed.). **Azospirillum sp.**: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 61-86.

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C.L.N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F.O.; SOUZA, E.; ZORITA, M.D.; BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 56, p. 461-479, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>. Acesso em: 12 mar. 2021.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

COELHO, A. P.; FARIA, R. T.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; ZANINI, J. R. Clorofilômetro portátil como forma de manejo da irrigação e adubação nitrogenada em aveia-branca. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, p. 2542-2553, 2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos Safra 2019/20– décimo segundo levantamento. Brasília, DF, v. 7, n. 12, p. 1-68, 2020

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.: Sistemas de produção e eficiência agronômica de fertilizantes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: contexto mundial e técnicas de suporte. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 229 – 275.

DWYER, L. M.; ANDERSON, A. M.; MA, B. L.; STEWART, D. W.; TOLLENAAR, M.; GREGORICH, E. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.75, n. 1, p. 179-182, 1994.

DWYER, L. M.; STEWART, D. W.; GREGORICH, E.; ANDERSON, A. M.; MA, B. L.; TOLLENAAR, M. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 75, n. 1, p. 179-182, 1995.

FAGERIA N. K.; FERREIRA, E. P. B.; MELO, L. C.; KNUPP, A. M. Genotypic Differences in dry bean yield and yield components as influenced by nitrogen fertilization and rhizobia. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova York, v. 45, n. 12, p.1583-1604, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.875204>. Acesso em: 12 mar. 2021.

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.; MELO, L. C.; OLIVEIRA, J. Nitrogen use efficiency in dry bean genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 36, n. 14, p. 2179-2190, 2013.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de feijão**. 2. ed. Piracicaba: Livrocere, 2007. 386 p.

FAOSTAT. **Production**: crops. Disponível em: FAOSTAT. Production: Crops. Disponível em: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org). Acesso em: 04 dez. 2020.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B. Produtividade, eficiência agronômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 165-172, 2010.

FERLINI, H. A. **Co-Inoculación en Soja (*Glicyne max*) con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense***. [S.l.: s.n.], 2006.

FERNANDES, F. M.; SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SOUZA, E. F. C. Chlorophyll meter-based leaf nitrogen status to manage nitrogen in tropical potato production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 112, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.20589>. Acesso em: 12 jan. 2021.

FERNÁNDEZ, F.; GEPTS P.; LÓPEZ, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 34p.

FLÔRES, J. A.; AMARAL, C. A.; PINTO, C. C.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B. Agronomic and qualitative traits of common bean as a function of the straw and nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 2, p. 195-201, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4743979>. Acesso em: 20 dez. 2020.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology Fertility of Soils**, Firenze, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>. Acesso em: 12 dez. 2020.

HUNTER, M. C.; SMITH, R. G.; SCHIPANSKI, M. E.; ATWOOD, L. W.; MORTENSEN, D. A. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. **BioScience**, New York, v. 67, p. 386–391, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>. Acesso em: 12 dez. 2020.

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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100017>. Acesso em: 12 jan. 2020.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M. FERRARO, L. A. Rendimento de soja, milho, feijão e arroz em sistema de plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p. 97-104, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000100016>. Acesso em: 12 dez. 2020.

LEAL, F. T.; FILLA, V. L.; BETTIOL, J. V. T.; SANDRINI, F. O. T.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B. Use efficiency and responsivity to nitrogen of common bean cultivars. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, 13 p, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943004919>. Acesso em: 05 abr. 2021.

MALAVOLTA, E. Adubos nitrogenados. In: MALAVOLTA, E. **Abc da adubação**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. p. 25-39.

MALAVOLTA, E. Leguminosas. In: MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p. 112.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B. FREITAS, L. B. Índice de suficiência de nitrogênio fundamenta as estimativas das necessidades de fertilização com nitrogênio do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, 183-192, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100019>. Acesso em: 05 abr. 2021.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; BIAZOTTO, F. O.; ALMEIDA, A. Q. Estimativa da necessidade de nitrogênio em cobertura no feijoeiro IAC Alvorada com clorofilômetro portátil **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, 2229-2238, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2229>. Acesso em: 20 dez. 2020.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; LIEBE, S. M.; ALMEIDA, A. Q. Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, p. 512-520, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000700005>. Acesso em: 15 dez. 2020.

MEIRELLES, F. C.; CORSINI, D. C. C.; GERLACH, G. A. X.; DA SILVA, J. C.; GITTI, D. C.; DE SOUZA, E.; PORTUGAL, J. R.; ARF, O. Coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium Tropici* em feijão em cultivo irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 11., 2014, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: [s.n.], 2014.

MINGOTTE, F. L. C.; YADA, M. M.; JARDIM, C. A.; FIORENTIN, C. F.; LEMOS, L. B.; FORNASIERI FILHO, D. Cover crop systems and nitrogen topdressing on common bean in no-tillage. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 696-706, 2014.

OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 169-221.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 219-226, 2009.

PEREZ, A. A. G.; SORATTO, R. P.; MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. F. C. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1276-1287, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500017>. Acesso em: 25 jun. 2020.

POCOJESKI, E.; SILVA, L. S.; KAEFER, S.; MORO, V.J.; GRIEBELER, G. Uso do clorofilômetro no monitoramento nutricional de arroz irrigado com vistas ao manejo da adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 310-318, 2015.

RAPASSI, R. M. A.; SÁ, M. E.; TARSITANO, M. A. A.; CARVALHO, M. A. C.; PROENÇA, É. R.; NEVES, C. M. T. C.; COLOMBO, E. C. M. Análise econômica comparativa após um ano de cultivo do feijoeiro irrigado, no inverno, em sistemas de plantio convencional e direto, com diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.

62, p. 397-404, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000300006>. Acesso em: 20 jun. 2020.

REMANS, R.; RAMAEKERS, L.; SCHELKENS, S.; HERNANDEZ, G.; GARCIA, A.; REYES, J. L.; MENDEZ, N.; TOSCANO, V.; MULLING, M.; GALVEZ, L.; VANDERLEYDEN, J. Effect of *Rhizobium*–*Azospirillum* coinoculation on nitrogen fixation and yield of two contrasting *Phaseolus vulgaris* L. genotypes cultivated across different environments in Cuba. **Plant Soil**, The Hague, v. 312, p. 25-37, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9606-4>. Acesso em: 12 jun. 2020.

ROCKSTRÖM, J.; WILLIAMS, J.; DAILY, G.; NOBLE, A.; MATTHEWS, N.; GORDON, L.; WETTERSTRAND, H.; DECLERCK, F.; SHAH, M.; STEDUTO, P.; FRAITURE, C.; HATIBU, N.; UNVER, O.; BIRD, J.; SIBANDA, L.; SMITH, J. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. **Ambio**, Stockholm, v.46, p.4-17, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6>. Acesso em: 12 jan. 2021.

SABUNDJIAN, M. T.; ARF, O.; TARSITANO, M. A. A.; KANEKO, F. H.; CORSINI, D. C. D. C. Análise econômica da adubação nitrogenada em feijoeiro de inverno sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 349-356, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000400005>. Acesso em: 12 jan. 2021.

SANTOS, A. B.; SILVA, O. F. Manejo do nitrogênio. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. (ed.). **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 207-216.

SILVA, C. C.; SILVEIRA, P. M. Influência de sistemas agrícolas na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 86-96, 2000.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003.

SILVEIRA, P. M.; FERREIRA, E. P. B. **Índice de suficiência de nitrogênio determinado pelo clorofilômetro em feijão inoculado com rizóbio e sob adubação nitrogenada**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016. 16 p. Boletim de pesquisa e desenvolvimento

SILVEIRA, P. M.; GONZAGA, A. C. O. Portable chlorophyll meter can estimate the nitrogen sufficiency index and levels of topdressing nitrogen in common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 1–6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742128>. Acesso em: 16 jan. 2021.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 923-936, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400019>. Acesso em: 12 mar. 2021.

SOARES, A. L. L.; FERREIRA, P. A. A.; PEREIRA, J. P.; VALE, H. M. M.; LIMA, A. S.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e

diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG): II – feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 750- 758, 2006.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 895-901, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590 / S0100-204X2004000900009>. Acesso em: 12 mar. 2021.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 259-266, 2006.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Late nitrogen application on common bean in no-tillage system. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 211-218, 2005.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; PILON, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGUI, E. Épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro cultivado após milho solteiro ou consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 10, p. 1351-1359, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590 / S0100-204X2013001000006>. Acesso em: 20 dez. 2021.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SOUZA, E. F. C.; SOUZA-SCHLICK, G. D. Produtividade e qualidade dos grãos de feijão em função da aplicação de nitrogênio em cobertura e via foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2019-2028, 2011.

SORATTO, R. P.; PEREZ, A. A. G.; FERNANDES, A. M. Idade do plantio direto e manejo do nitrogênio na nutrição e produtividade do feijoeiro. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, p. 809-820, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2134 / agronj13.0439>. Acesso em: 12 abr. 2020.

STEINER, F.; FERREIRA, H. C. P.; ZUFFO, A. M. Can co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* increase common bean nodulation and grain yield? **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 1, p. 81-98, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5Supl1p2015>. Acesso em: 12 mar. 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

YADAVA, U. L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, Alexandria, v. 21, p. 1449-1450, 1986.

YADEGARI, M.; RAHMANI, H. A.; NOORMOHAMMADI, G.; AYNEBAND, A. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 33, n. 12, p. 1733-1743, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2010.503776>. Acesso em: 12 set. 2020.

## 2 REDUÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA NO FEIJÃO DE INVERNO COM MANEJO DO CLOROFILÔMETRO PORTÁTIL E BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

### Resumo

O grande desafio da agricultura moderna sustentável consiste em maximizar o rendimento das lavouras sem aumentar os custos de produção. O uso do clorofilômetro portátil é uma maneira prática, rápida e não destrutiva de prever a concentração de nitrogênio (N) foliar por meio da leitura do índice de clorofila nas folhas (ICF) e, assim, auxiliar no manejo da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a necessidade da adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro de inverno, cultivar BRS Estilo, utilizando o manejo o clorofilômetro portátil e a eficiência de bactérias fixadoras de N em associação com a cultura, durante as safras de 2016, 2017 e 2018, em área de Cerrado brasileiro (Selvíria - MS) sob sistema plantio direto consolidado. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, dispostos em esquema de faixas, com ou sem inoculação de sementes com *Rhizobium tropici* em combinação com 7 manejos de adubação nitrogenada de cobertura [**M1**: 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 80 kg ha<sup>-1</sup>, aos 10 dias após emergência (DAE) + 80 kg ha<sup>-1</sup>, aos 20 DAE (tratamento referência); **M2**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 40 kg ha<sup>-1</sup>, aos 10 DAE + 40 kg ha<sup>-1</sup>, aos 20 DAE (dose recomendada); **M3**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam índice de suficiência de nitrogênio (ISN) ISN < 90%; **M4**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; **M5**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; **M6**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; **M7**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura (testemunha, sem aplicação de N em cobertura)], com quatro repetições. Realizou-se análise multivariada para as variáveis de características agrônômicas, que permitiu constatar correlação entre teor de N foliar, produtividade de grãos e índice de clorofila foliar no ano de 2016, sendo que para as duas últimas variáveis também houve correlação no ano de 2017. Portanto, o monitoramento na cultura do feijão de inverno por meio do clorofilômetro portátil permite a redução da adubação mineral nitrogenada de cobertura em áreas de SPD consolidado, com economia de 70 a 90 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, para alta classe de resposta e expectativas de

produtividade elevadas. A determinação indireta do índice de clorofila foliar com o uso do clorofilômetro auxilia no manejo da adubação nitrogenada em cobertura, refletindo na produtividade de grãos. A inoculação com *Rhizobium tropici* proporciona altas produtividades de grãos de feijão, com maior eficiência e economia de fertilizantes nitrogenados.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Nitrogênio. *Azospirillum brasilense*. *Rhizobium tropici*. Teor de clorofila. Sistema plantio direto.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), juntamente com o arroz, faz parte da dieta básica dos brasileiros, sendo uma importante fonte de proteína e energia na alimentação, e apresenta importância econômica e social para diversos países. A produção mundial de feijão é de aproximadamente 30 milhões de toneladas de grãos, ocupando uma área de 34,5 milhões de ha, sendo os principais países produtores Índia, Myanmar e Brasil (FAOSTAT, 2017).

A produtividade média de grãos de feijão no Brasil aproxima-se de 1.104 kg ha<sup>-1</sup> (Conab, 2020), mas ainda apresenta valores baixos e simultâneas pesquisas vêm buscando maior eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) com o uso de bactérias diazotróficas para aumentar essa produtividade.

Além da inoculação com rizóbios, há o *Azospirillum brasilense*, que são rizobactérias que estabelecem relações associativas com a planta hospedeira e são capazes de fornecer, pelo menos parcialmente, as demandas da planta em N. Essas rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) atuam principalmente na nutrição, proteção e estímulo de crescimento de plantas, por uma variedade de processos únicos ou combinados, incluindo a produção de fitormônios, sideróforos, solubilização de fosfato, indução de resistência sistêmica intrínseca da planta a estresses abióticos e bióticos (Hungria *et al.*, 2015; Cassan *et al.*, 2020).

O N é considerado o nutriente mais limitante na cultura do feijão, visto que é o mais extraído pela planta e o segundo mais exportado pelos grãos. Tendo em vista que o processo de fixação simbiótico ainda não é eficiente o suficiente para fornecer todo o N necessário para o feijoeiro comum, a adubação nitrogenada permanece essencial para se obter altas produtividades (SORATTO *et al.*, 2013).

Sabe-se que o fornecimento adequado de N é considerado como um dos mais difíceis, pois na maioria das vezes é estimado com base na produtividade esperada e no histórico da área, sendo importante o manejo adequado do N (época de aplicação e a quantidade a ser aplicada) (MAIA *et al.*, 2017). Além disso, pode apresentar perdas por lixiviação, desnitrificação, volatilização e erosão do solo.

Para auxiliar nesse manejo, técnicas como o uso do clorofilômetro portátil são alternativas para prever o teor de nitrogênio foliar mediante leituras indiretas do índice relativo de clorofila (IRC) na folha que se correlaciona com a concentração de N na planta (BLACKMER; SCHEPERS, 1995). Essas leituras estão sendo utilizadas para prever as doses e épocas em que as adubações de cobertura com N devem ser realizadas na cultura do feijão-comum (BARBOSA FILHO *et al.*, 2009; MAIA *et al.*, 2017).

Para normalizar as leituras é feita a determinação do Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN), obtido pela média das leituras do clorofilômetro em amostras de uma área adubada com N, dividida pela média das leituras de uma área Referência adubada com a dose máxima de N recomendada para a cultura, para permitir a concentração máxima de clorofila na folha (MAIA *et al.*, 2012; SILVEIRA; GONZAGA, 2016).

De acordo com trabalhos realizados por Barbosa Filho *et al.* (2008) e Barbosa Filho *et al.* (2009, o uso do ISN menor que 90% permite maior eficiência da adubação nitrogenada, com economia de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N. Portanto, o índice mais utilizado tem sido o ISN de 90%, confirmado por Maia *et al.* (2017), que, também, verificaram esse ser mais eficiente que o índice de 95%.

Assim, o uso do clorofilômetro portátil é uma alternativa viável para o monitoramento e manejo do N no feijoeiro, permitindo redução da aplicação de N em cobertura (FILLA *et al.*, 2020). Com ele é possível determinar qual a época de maior demanda de N no feijoeiro e inferir na recomendação da adubação nitrogenada de cobertura. Ainda, é possível, economia no fornecimento de fertilizante mineral com o uso de microrganismos benéficos capazes de auxiliar na melhoria da produtividade de grãos, contribuindo para as práticas atuais de sustentabilidade na agricultura.

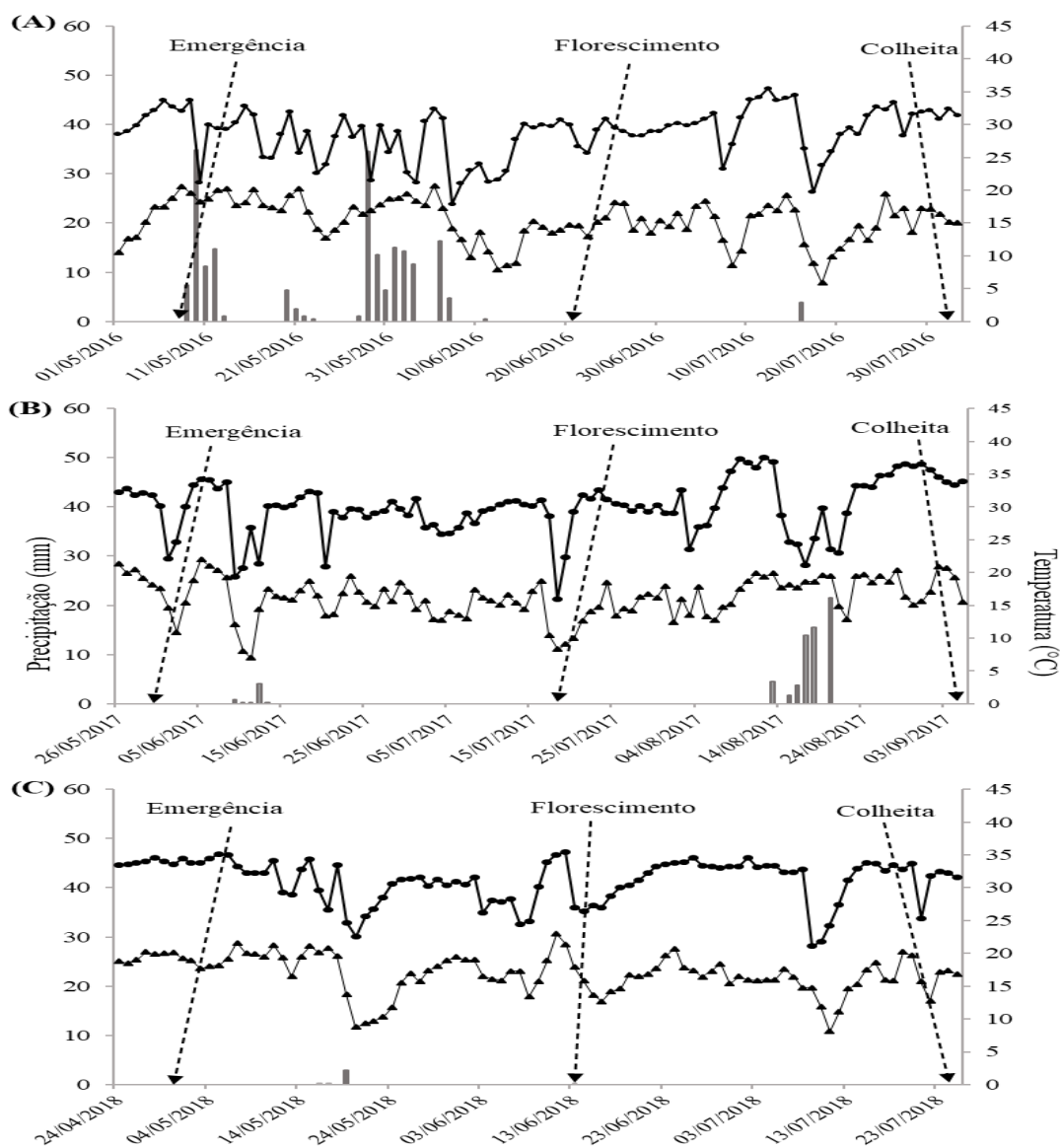
Nesse sentido, objetivou-se avaliar a necessidade da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro de inverno por meio do manejo utilizando o clorofilômetro portátil e a eficiência de bactérias fixadoras de nitrogênio em associação com a cultura, durante as safras de 2016, 2017 e 2018.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Descrição do local e solo

O experimento foi desenvolvido em condições de Cerrado, em três cultivos agrícolas no período de outono-inverno de 2016, 2017 e 2018, no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul - Brasil, (51° 22' W, 20° 22' S, com altitude de 335 metros).

O clima predominante da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo a classificação Köppen (Alvares *et al.*, 2013). A precipitação pluvial média anual da região é de 1.313 mm, com temperatura máxima mínima e média anual de, respectivamente, 31, 19 e 25 °C (Portugal, Peres e Rodrigues, 2015). Os dados de precipitação, temperatura mínima e máxima do ar foram coletados durante a condução do experimento (Figura 1).



**Figura 1.** Variação diária da precipitação e da temperatura mínima e máxima do ar, durante o cultivo do feijão de inverno. (A) 2016, (B) 2017 e (C) 2018.

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, argiloso (Santos *et al.*, 2018). Antes da instalação, nos três anos, foram coletadas amostras de solo da área experimental e realizada a análise química, de acordo com a metodologia de Raij *et al.* (2001) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise química do solo da área experimental na camada de 0 a 0,20 m, nos três anos agrícolas de cultivo do feijoeiro de inverno (Selvória, MS, Brasil).

| Ano  | P resina<br>mg dm <sup>-3</sup> | M.O.<br>g dm <sup>-3</sup> | pH<br>CaCl <sub>2</sub> | K<br>----- | Ca | Mg<br>mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | H+Al<br>----- | SB   | CTC | V<br>% |
|------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------|----|------------------------------------------|---------------|------|-----|--------|
| 2016 | 26                              | 16                         | 5,4                     | 1,4        | 23 | 20                                       | 22            | 44,4 | 66  | 67     |
| 2017 | 15                              | 16                         | 5,1                     | 2,0        | 21 | 13                                       | 31            | 36,0 | 67  | 54     |
| 2018 | 12                              | 22                         | 5,2                     | 1,1        | 24 | 15                                       | 28            | 40,1 | 68  | 59     |

### 2.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, dispostos em esquema de faixas, com ou sem inoculação com *Rhizobium tropici*. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de 7 manejos: [M1: 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 80 kg ha<sup>-1</sup>, aos 10 dias após a emergência (DAE) + 80 kg ha<sup>-1</sup>, aos 20 DAE (tratamento referência); M2: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 40 kg ha<sup>-1</sup>, aos 10 DAE + 40 kg ha<sup>-1</sup>, aos 20 DAE (dose recomendada, segundo Ambrosano *et al.* (1997)); M3: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; M4: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; M5: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; M6: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; M7: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura (testemunha, sem aplicação de N em cobertura)], com quatro repetições.

As parcelas experimentais foram constituídas por 7 linhas de feijão espaçadas de 0,45 m entre si, com 6,0 m de comprimento, totalizando 18,90 m<sup>2</sup> de área e considerando-se como bordadura as linhas laterais da parcela e mais 1,0 m em ambas as extremidades de cada linha.

### 2.2.3 Condução do experimento e desenvolvimento da cultura

Os experimentos foram instalados em sistema plantio direto consolidado (iniciado há mais de vinte anos), em área anteriormente cultivada com soja no verão (2013/14 e 2014/15), milho segunda safra e rotação com plantas de cobertura, sendo ocupada por milheto (*Pennisetum glaucum*) nos três anos de experimento antes do cultivo de feijão. Por ocasião do florescimento do milheto foi realizado o manejo químico das plantas com o herbicida glyphosate (1.560 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo - i.a.) e uso do desintegrador mecânico para uniformização da palhada, aproximadamente 15 dias antes da semeadura do feijão. O milheto forneceu em média ao redor de 8 t ha<sup>-1</sup> de massa seca de palha.

O feijão foi semeado mecanicamente no dia 03/05/2016, 25/05/2017 e 23/04/2018 utilizando-se a cultivar BRS Estilo (grupo comercial carioca com hábito de crescimento indeterminado tipo II), com quantidade de sementes suficientes para obtenção de densidade de 10 plantas  $\text{m}^{-1}$ . A adubação no sulco de semeadura foi realizada com 250  $\text{kg ha}^{-1}$  de 08-28-16 (20  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, 70  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 40  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ), exceto o tratamento M1 (área de referência) que recebeu mais 20  $\text{kg ha}^{-1}$  de N no solo, em seguida da semeadura, totalizando 40  $\text{kg ha}^{-1}$  de N. A emergência de plântulas ocorreu aos seis dias após a semeadura (DAS) nas três safras.

Precedendo a semeadura, as sementes foram tratadas com piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil (Standak Top<sup>®</sup>), nas doses de 5, 45 e 50 g do i.a. para cada 100 kg de sementes, respectivamente. Os tratamentos com inoculação de *Rhizobium tropici* foram efetuados após o tratamento químico das sementes, utilizando-se inoculante turfoso com a estirpe Semia 4080 contendo  $2 \times 10^9$  unidades formadoras de colônias (UFC)  $\text{g}^{-1}$ , na dose de 200 g do inoculante para cada 50 kg de sementes e, em seguida, realizou-se a semeadura, no final da tarde.

Os tratamentos com aplicação de *Azospirillum brasilense* via foliar foram realizados no estágio V<sub>4</sub>, quando a 3ª folha trifoliada estava plenamente formada e tem início o processo de ramificação da planta, utilizando-se as estirpes AbV<sub>5</sub> e AbV<sub>6</sub> com  $2 \times 10^8$  UFC  $\text{g}^{-1}$ , inoculante líquido na dose de 200 mL  $\text{ha}^{-1}$ . O volume de calda foi de 300 L  $\text{ha}^{-1}$  aplicado com pulverizador costal, no final da tarde, momento em que as temperaturas estavam mais amenas.

O fornecimento de água, quando necessário, foi realizado por sistema fixo de irrigação por aspersão, levando-se em consideração os dados de precipitação pluvial registrados em Estação Meteorológica.

Os estádios fenológicos do feijão utilizados para definir o momento de aplicação do fertilizante nitrogenado seguiram a escala definida por Fernández *et al.* (1986). Os autores definem como V<sub>3</sub> o estágio em que a primeira folha trifoliolada está totalmente expandida; V<sub>4</sub> o estágio em que a terceira folha trifoliolada está completamente expandida e V<sub>4-5</sub> quando a quinta folha trifoliolada está completamente expandida (são esses os três momentos do ciclo do feijão em que foram realizadas a adubação de N em cobertura, de acordo com o tratamento).

A fonte de N utilizada nas aplicações em cobertura foi ureia (45% de N), aplicada em filete contínuo a 10 cm da linha de cultivo do feijoeiro. A primeira aplicação do N em cobertura, nos três anos, foi realizada aos 10 DAE para os manejos M1 na dose de 80  $\text{kg ha}^{-1}$  (área de referência) e M2 na dose de 40  $\text{kg ha}^{-1}$  (dose recomendada), quando as plantas de feijão estavam no estágio V<sub>3</sub>. Aos 20 DAE (estádio V<sub>4</sub>) aplicou-se a segunda dose de N em cobertura para os

manejos M1 e M2 (Tabela 2). Após as adubações realizou-se irrigação com uma lâmina de 15 mm para incorporação do fertilizante.

O monitoramento do Índice Relativo de Clorofila (IRC) foi realizado semanalmente a partir dos 14 DAE até a fase de florescimento da cultura, ou seja, aos 15, 22, 29, 34, 41 e 48 DAE, empregando-se o clorofilômetro ótico portátil ClorofiLOG (Falker®, modelo CFL 1030). As leituras foram realizadas pela manhã (08-11h), amostrando-se cinco plantas por unidade experimental, nas quais realizou-se uma leitura por folíolo de cada folha trifoliolada avaliada como diagnóstica. O Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN) de 90% foi definido como mais adequado para a necessidade de N pela cultura e a folha diagnose utilizada foram folhas recém adultas, ou seja, a segunda folha completamente expandida a partir do ápice, na fase inicial do ciclo da cultura, e a terceira, em estádios mais adiantados estabelecidos, de acordo com Maia *et al.* (2012).

Com as leituras do IRC, o cálculo do ISN foi obtido por meio da relação das medidas dos valores das leituras do clorofilômetro dos tratamentos (LT) e no tratamento referência M1 (LR) pela Equação 1.

$$\text{ISN (\%)} = (\text{LT} / \text{LR}) \times 100 \dots\dots\dots (\text{Eq. 1})$$

Apenas no segundo ano do experimento (2017), aos 30 DAE (estádio V<sub>4-5</sub>, quando as plantas estavam com a quinta folha trifoliolada completamente expandida) foi realizada a adubação em cobertura para os manejos M3, M4, M5 e M6 que apresentaram ISN abaixo de 90%, determinado no dia anterior (29 DAE).

**Tabela 2.** Épocas de aplicação e total de N aplicado em cada manejo no feijoeiro de inverno, nos anos agrícolas 2016, 2017 e 2018.

| Manejo do N | Épocas de aplicação em cobertura<br>DAE |         |         | Total de N aplicado<br>kg ha <sup>-1</sup> |      |      |
|-------------|-----------------------------------------|---------|---------|--------------------------------------------|------|------|
|             | 2016                                    | 2017    | 2018    | 2016                                       | 2017 | 2018 |
| M1          | 10 e 20                                 | 10 e 20 | 10 e 20 | 200                                        | 200  | 200  |
| M2          | 10 e 20                                 | 10 e 20 | 10 e 20 | 100                                        | 100  | 100  |
| M3          | -                                       | 30      | -       | 20                                         | 40   | 20   |
| M4          | -                                       | 30      | -       | 20                                         | 50   | 20   |
| M5          | -                                       | 30      | -       | 20                                         | 40   | 20   |
| M6          | -                                       | 30      | -       | 20                                         | 50   | 20   |
| M7          | -                                       | -       | -       | 20                                         | 20   | 20   |

M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

O controle de plantas daninhas foi realizado em pós-emergência com os herbicidas fomesafen ( $250 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) e fenoxaprope-p-etílico ( $77 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) para o controle de plantas de folhas largas e estreitas, respectivamente. Utilizou-se o inseticida imidacloprido ( $100 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) aos 15 DAE, quando a cultura se encontrava no estágio V<sub>4</sub>. Além disso, com o aparecimento de pragas e doenças causadas por fungos, realizou-se a aplicação da mistura deltametrina ( $4 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) + carbendazim ( $250 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) + abamectina ( $0,4 \text{ L ha}^{-1}$  do i.a.) por ocasião do florescimento e aplicação da mistura abamectina ( $0,4 \text{ L ha}^{-1}$  do i.a.) + mancozeb ( $1.125 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) aos 10 dias após a aplicação anterior. Ambos no volume de calda de  $300 \text{ L ha}^{-1}$ , aplicados com pulverizador de barras tratorizado.

O florescimento pleno da cultura, no primeiro ano, ocorreu no dia 21/06/2016, aos 44 DAE; no segundo ano ocorreu no dia 24/07/2017, aos 52 DAE e, no terceiro ano, ocorreu no dia 13/06/2018, aos 45 DAE. A colheita ocorreu aos 109, 107 e 90 DAE para a primeira, segunda e terceira safra, respectivamente. O arranquio das plantas ocorreu de forma manual e a trilha mecânica.

## 2.4. Amostragem e Análises

**2.4.1. Massa seca da parte aérea:** por ocasião do florescimento pleno foram coletadas 10 plantas ao acaso por unidade experimental, acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e levadas ao laboratório para secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de  $60\text{-}70^\circ\text{C}$ , por 72 horas. Posteriormente, as amostras foram pesadas e os valores convertidos em  $\text{g planta}^{-1}$ .

**2.4.2 População de plantas:** o número de plantas foi determinado por ocasião da colheita em duas linhas da área útil da parcela e, com esse valor, foi estimada a população final de plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

**2.4.3 Componentes da produção:** foram coletadas manualmente, por ocasião da colheita, 10 plantas consecutivas na linha de cultivo, na área útil das parcelas para a avaliação de: número de vagens por planta (determinado pela relação do número total de vagens/número de plantas); número de grãos por planta (obtido pela relação do número total de grãos/número de plantas); número médio de grãos por vagem (calculado pela relação do número total de grãos/número total de vagens); massa de 100 grãos (obtido da coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de 100 grãos por parcela, e corrigidos para  $130 \text{ g kg}^{-1}$  base úmida).

**2.4.4 Produtividade de grãos:** foram colhidas manualmente as plantas contidas em duas fileiras de quatro metros de comprimento e deixadas para secagem a pleno sol. Após a

secagem, determinou-se a massa dos grãos colhidos em cada parcela e esta foi convertida para  $\text{kg ha}^{-1}$  ( $130 \text{ g kg}^{-1}$  base úmida).

**2.4.5 Concentração de nitrogênio foliar:** por ocasião do florescimento pleno das plantas, após a determinação do IRC, as folhas amostradas foram imediatamente coletadas (terceira folha trifoliolada completamente expandida a partir do ápice) situadas na área útil de cada parcela. Posteriormente, esse material foi seco em estufa de ventilação de ar forçado com temperatura à  $65^\circ\text{C}$  até a obtenção de massa constante, e em seguida moídas em moinho tipo Wiley para determinação do teor de N total, segundo metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997);

**2.5. Análise Estatística:** realizou-se o diagnóstico para análise de variância, analisando a normalidade dos resíduos e heterocedasticidade dos dados pelo software R, com os testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Levene. Em seguida, os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância (ANOVA) e, quando se detectou diferenças ( $p \leq 0,05$ ), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software Sisvar 5.6 para tais análises (Ferreira, 2019).

A análise conjunta foi realizada dos três anos de cultivo do feijão em delineamento de blocos casualizados mediante o programa Agroestat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015) e para comparação das médias dos tratamentos foi aplicado o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Foi realizada a análise multivariada para as variáveis dos manejos da adubação nitrogenada no feijoeiro. O conjunto de dados foi padronizado de modo que cada variável foi mantida com média nula e variância unitária. A análise multivariada foi realizada por meio da análise de componentes principais, que permite condensar a maior quantidade de informação original contida em  $n$  variáveis em  $p$  latentes ortogonais denominadas componentes principais ( $n = 14$  e  $p = 2$ , neste trabalho), que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (HAIR *et al.*, 2005). Assim, o conjunto inicial de oito variáveis (massa seca da parte aérea, nº de vagens por planta, nº de grãos por vagens, nº de grãos por planta, produtividade, massa de 100 grãos, índice de clorofila foliar e nitrogênio foliar) passou a ser caracterizado por duas variáveis latentes ortogonais, os componentes principais, possibilitando sua representação em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais).

A análise foi feita a partir dos dados das variáveis originais retidas pelos componentes principais que possuem autovalores maiores que a unidade (KAISER, 1958). Foram considerados os coeficientes das funções lineares para interpretação, sendo atribuído o peso de

cada variável por meio dos coeficientes ( $>|0,7|$ ). As análises foram conduzidas no programa STATISTICA 7.0.

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 População final de plantas, massa seca parte aérea e concentração de N foliar

A população final de plantas de feijão (Tabela 3) não foi influenciada pela aplicação de *Rhizobium tropici* ou pelo manejo de N utilizado. No entanto, observa-se que em 2018 a população final foi menor que nos outros anos o que pode estar relacionado às condições climáticas dessa safra, em que houve temperaturas máximas elevadas e grande parte do ciclo da cultura sem precipitação (Figura 1), apenas suplementação das necessidades hídricas com irrigação.

**Tabela 3.** População final (POP FINAL), massa seca da parte aérea (MSPA) e concentração de N foliar (NF) do feijoeiro de inverno, em função dos tratamentos com monitoramento da adubação nitrogenada com o clorofilômetro e ausência ou presença de *Rhizobium tropici*.

| Trat.                                              | POP FINAL<br>população ha <sup>-1</sup> |        |        | MSPA<br>g planta <sup>-1</sup> |         |        | NF<br>g kg <sup>-1</sup> |       |       |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------------------------------|---------|--------|--------------------------|-------|-------|
|                                                    | 2016                                    | 2017   | 2018   | 2016                           | 2017    | 2018   | 2016                     | 2017  | 2018  |
| <b>Inoculação com <i>Rhizobium tropici</i> (I)</b> |                                         |        |        |                                |         |        |                          |       |       |
| <b>Sem</b>                                         | 248809                                  | 215342 | 185448 | 9,66                           | 14,14   | 12,46  | 31,7                     | 40,8  | 37,3  |
| <b>Com</b>                                         | 245374                                  | 194354 | 179231 | 10,27                          | 14,78   | 11,87  | 31,8                     | 43,1  | 36,5  |
| <b>Manejo do N (N)</b>                             |                                         |        |        |                                |         |        |                          |       |       |
| <b>M1</b>                                          | 245370                                  | 199380 | 174535 | 11,72a                         | 18,10a  | 14,65a | 35,6a                    | 43,2  | 37,6  |
| <b>M2</b>                                          | 244705                                  | 203702 | 191664 | 10,43ab                        | 17,18ab | 8,33b  | 31,1b                    | 44,5  | 35,9  |
| <b>M3</b>                                          | 249537                                  | 206788 | 176850 | 8,02b                          | 12,71ab | 8,56b  | 30,3b                    | 38,7  | 37,5  |
| <b>M4</b>                                          | 245585                                  | 196603 | 172683 | 9,35ab                         | 14,88ab | 8,16b  | 31,1b                    | 42,2  | 37,3  |
| <b>M5</b>                                          | 246759                                  | 209874 | 191201 | 10,4ab                         | 11,98b  | 9,07b  | 30,6b                    | 42,3  | 38,1  |
| <b>M6</b>                                          | 250926                                  | 209874 | 191202 | 9,80ab                         | 12,93ab | 8,23b  | 30,8b                    | 41,7  | 38,2  |
| <b>M7</b>                                          | 246758                                  | 207714 | 178238 | 10,02ab                        | 13,41ab | 8,305b | 32,1ab                   | 41,1  | 34,0  |
| <b>Teste F</b>                                     |                                         |        |        |                                |         |        |                          |       |       |
| <b>I</b>                                           | 0,65                                    | 7,83   | 3,02   | 0,82                           | 0,41    | 1,04   | 0,11                     | 4,97  | 0,42  |
| <b>N</b>                                           | 0,19                                    | 0,13   | 1,68   | 3,49*                          | 4,84**  | 7,20** | 5,20*                    | 1,77  | 0,71  |
| <b>I x N</b>                                       | 0,17                                    | 0,58   | 0,44   | 0,63                           | 1,81    | 1,28   | 0,62                     | 1,42  | 0,05  |
| <b>CV<sub>I</sub></b>                              | 6,45                                    | 13,70  | 7,34   | 25,37                          | 20,94   | 27,39  | 7,40                     | 18,52 | 6,99  |
| <b>CV<sub>N</sub></b>                              | 6,04                                    | 20,08  | 10,30  | 17,17                          | 15,79   | 23,14  | 6,27                     | 7,93  | 11,79 |
| <b>CV<sub>IxM</sub></b>                            | 6,15                                    | 8,51   | 11,05  | 26,71                          | 23,62   | 36,15  | 6,03                     | 6,64  | 8,12  |

|          |        |        |        |      |      |      |      |      |      |
|----------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| <b>M</b> | 247092 | 204848 | 182340 | 9,97 | 14,8 | 12,2 | 31,7 | 41,9 | 36,9 |
|----------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|

\*\*, \* = significativo pelo teste F a 1 e 5 %, respectivamente. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

O tratamento M1 com aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N (área de referência) apresentou maiores valores médios de massa seca da parte aérea nos três anos de cultivos (Tabela 3), o que mostra a importância desse nutriente para o desenvolvimento das plantas de feijão. No primeiro ano 46,1%, no segundo 42,4% e no terceiro 71,1% maior que o tratamento M3.

### 2.3.2 Componentes de produção e produtividade

Para o número de vagens por planta (Tabela 4) verificou-se que o tratamento M1 (área de referência) foi maior no ano de 2017, diferindo dos tratamentos M3 e M7 e, em 2018, obteve maior número de vagens por planta que M5 e M6. O tratamento de referência também apresentou maior número de grãos por planta que os tratamentos M3, M4 e M7 no ano de 2017, mas nos outros anos não apresentou diferença para esse componente de produção.

**Tabela 4.** Número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) do feijoeiro de inverno, em função dos tratamentos com monitoramento da adubação nitrogenada com o clorofilômetro e ausência ou presença de *Rhizobium tropici*

| Tratamentos                                    | NVP   |        |        | NGP  |         |      | NGV   |      |      |
|------------------------------------------------|-------|--------|--------|------|---------|------|-------|------|------|
|                                                | 2016  | 2017   | 2018   | 2016 | 2017    | 2018 | 2016  | 2017 | 2018 |
| <b>Inoculação <i>Rhizobium tropici</i> (R)</b> |       |        |        |      |         |      |       |      |      |
| <b>Sem</b>                                     | 13,8  | 19,3   | 14,8   | 63   | 92,7    | 76,8 | 4,9   | 4,9  | 5,2  |
| <b>Com</b>                                     | 12,6  | 20,5   | 17,2   | 67   | 101,9   | 87,3 | 5,0   | 5,0  | 5,1  |
| <b>Manejo do N (N)</b>                         |       |        |        |      |         |      |       |      |      |
| <b>M1</b>                                      | 13,3  | 24,1a  | 19,8a  | 63,6 | 117,5a  | 96,3 | 4,6   | 5,0  | 4,9  |
| <b>M2</b>                                      | 13,4  | 21,1ab | 15,9ab | 64,5 | 106,7ab | 81,9 | 5,1   | 5,0  | 4,9  |
| <b>M3</b>                                      | 13,2  | 17,1b  | 16,5ab | 61,8 | 83,4b   | 85,5 | 4,9   | 5,0  | 5,1  |
| <b>M4</b>                                      | 12,0  | 19,0ab | 16,5ab | 59,6 | 88,6b   | 86,4 | 4,7   | 4,9  | 5,6  |
| <b>M5</b>                                      | 13,6  | 20,6ab | 13,5b  | 70,4 | 97,5ab  | 71,3 | 5,1   | 5,0  | 5,2  |
| <b>M6</b>                                      | 14,0  | 20,8ab | 14,4b  | 71,7 | 104,0ab | 78,4 | 5,0   | 5,0  | 5,4  |
| <b>M7</b>                                      | 12,8  | 16,7b  | 15,4ab | 63,3 | 83,5b   | 74,6 | 5,0   | 5,0  | 5,0  |
| <b>Teste F</b>                                 |       |        |        |      |         |      |       |      |      |
| <b>Inoculação</b>                              | 3,29  | 5,67   | 2,50   | 0,81 | 5,7     | 1,71 | 0,18  | 1,00 | 0,36 |
| <b>Manejo N</b>                                | 0,43  | 4,01*  | 3,47*  | 0,94 | 6,3**   | 2,13 | 1,89  | 1,00 | 1,20 |
| <b>I x M</b>                                   | 0,34  | 1,81   | 0,90   | 0,46 | 2,11    | 0,62 | 0,56  | 1,00 | 1,59 |
| <b>CV<sub>Inoculação</sub></b>                 | 18,18 | 9,58   | 36,5   | 26,5 | 14,6    | 36,6 | 12,90 | 2,68 | 12,9 |
| <b>CV<sub>Manejo</sub></b>                     | 20,56 | 18,08  | 18,9   | 20,0 | 15,0    | 19,7 | 7,88  | 2,68 | 13,8 |

|                         |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>CV<sub>IxM</sub></b> | 18,50 | 12,98 | 15,9 | 21,9 | 11,5 | 16,9 | 7,23 | 2,68 | 11,7 |
| <b>Média</b>            | 13,2  | 19,9  | 16,0 | 65,0 | 97,3 | 82,0 | 4,9  | 5,0  | 5,2  |

\*\*, \* = significativo pelo teste F a 1 e 5 %, respectivamente. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

Não houve efeito dos tratamentos no número de grãos por vagem (Tabela 4) e nem efeito significativo para o manejo de N ou inoculação com bactérias para a massa de 100 grãos (Tabela 5).

Para os dados médios de produtividade de grãos de feijão (Tabela 5) notou-se que no primeiro ano de cultivo, o tratamento M1 (área de referência) com aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> total de N proporcionou incrementos de produtividade de grãos, diferindo do tratamento M3 com apenas 20 kg ha<sup>-1</sup> de N e aplicação de *Azospirillum brasilense* via foliar.

**Tabela 5.** Massa de cem grãos (M100) e produtividade de grãos (PROD) do feijoeiro de inverno, em função dos tratamentos com monitoramento da adubação nitrogenada com o clorofilômetro e ausência ou presença de *Rhizobium tropici*

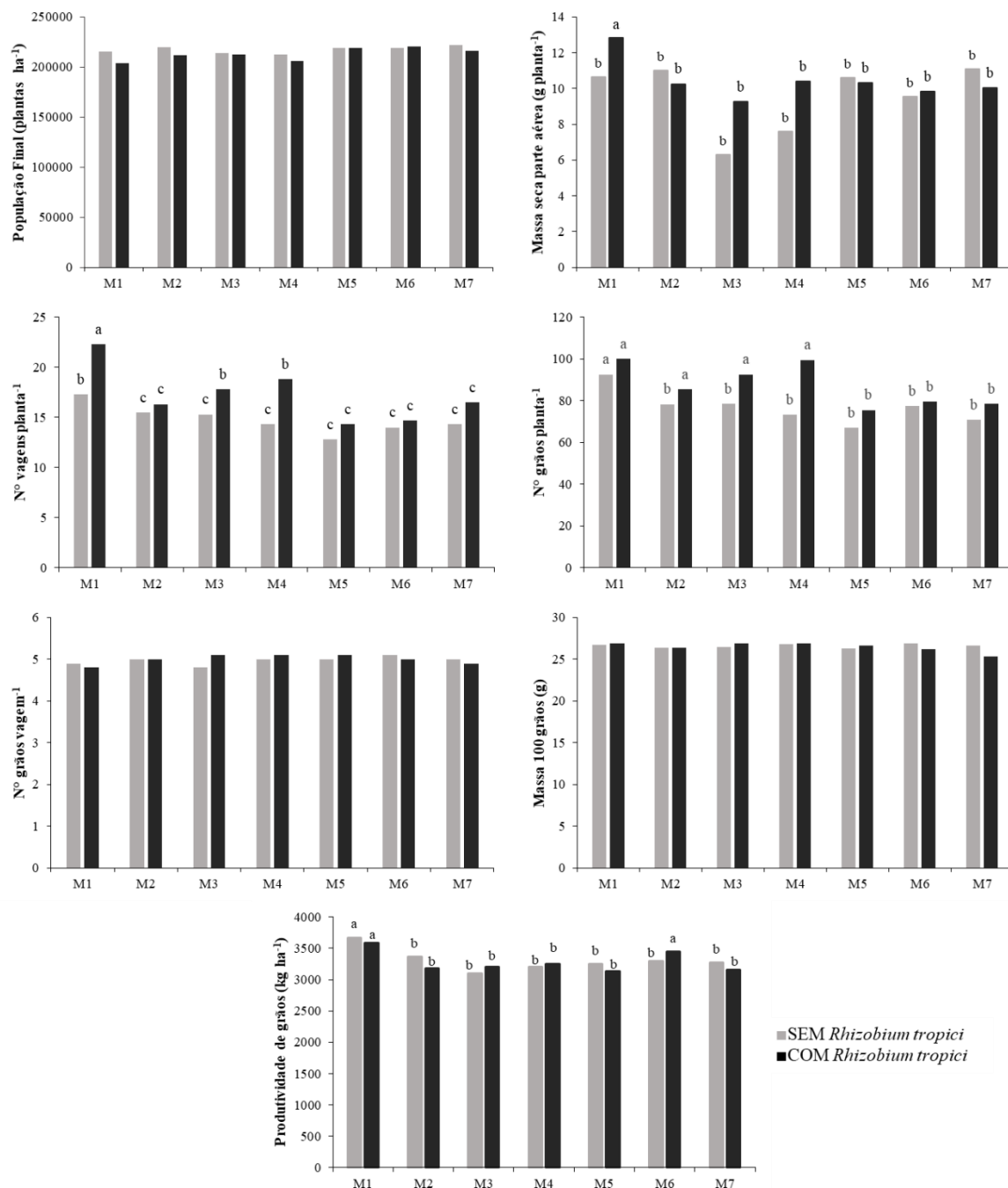
| Tratamentos              | M100                                        |      |      | PROD    |                     |        |
|--------------------------|---------------------------------------------|------|------|---------|---------------------|--------|
|                          | 2016                                        | 2017 | 2018 | 2016    | 2017                | 2018   |
|                          |                                             | g    |      |         | kg ha <sup>-1</sup> |        |
|                          | Inoculação com <i>Rhizobium tropici</i> (R) |      |      |         |                     |        |
| Sem                      | 26,7                                        | 24,9 | 28,2 | 2.981   | 4.186               | 2.757  |
| Com                      | 26,7                                        | 25,0 | 27,7 | 2.866   | 4.294               | 2.681  |
|                          | Manejo do N                                 |      |      |         |                     |        |
| M1                       | 27,3                                        | 25,2 | 28,0 | 3.294a  | 4.570               | 3.022  |
| M2                       | 26,9                                        | 24,4 | 28,1 | 2.854ab | 4.290               | 2.671  |
| M3                       | 26,5                                        | 25,3 | 28,3 | 2.690b  | 4.034               | 2.732  |
| M4                       | 26,5                                        | 25,4 | 28,6 | 2.817ab | 4.197               | 2.675  |
| M5                       | 26,9                                        | 24,5 | 28,0 | 2.873ab | 4.132               | 2.564  |
| M6                       | 26,4                                        | 25,3 | 28,0 | 3.014ab | 4.340               | 2.760  |
| M7                       | 26,3                                        | 24,8 | 26,8 | 2.925ab | 4.117               | 2.608  |
|                          | Teste F                                     |      |      |         |                     |        |
| Inoculação               | 0,05                                        | 0,08 | 2,32 | 2,04    | 0,59                | 0,58   |
| Manejo N                 | 1,46                                        | 1,80 | 1,17 | 2,71*   | 2,39                | 1,67   |
| I x M                    | 1,67                                        | 1,94 | 1,32 | 0,61    | 2,01                | 1,96   |
| CV <sub>Inoculação</sub> | 3,02                                        | 1,84 | 4,30 | 10,33   | 12,48               | 13,80  |
| CV <sub>Manejo</sub>     | 3,00                                        | 3,72 | 5,19 | 11,21   | 7,72                | 12,04  |
| CV <sub>IxM</sub>        | 3,80                                        | 2,24 | 3,17 | 12,60   | 6,21                | 9,14   |
| Média                    | 26,7                                        | 25,0 | 27,9 | 2.924B  | 4.240 <sup>a</sup>  | 2.719C |

\*\*, \* = significativo pelo teste F a 1 e 5 %, respectivamente. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as

leituras do clorofilômetro indicarem  $ISN < 90\%$ ; M5:  $20 + 20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem  $ISN < 90\%$ ; M6:  $20 + 30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem  $ISN < 90\%$ ; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

Observou-se ainda, pela análise conjunta dos três anos (Figura 2) que a safra de 2017 apresentou maiores produtividades de grãos de feijão. A massa seca da parte aérea e número de vagens por plantas foram influenciadas pelos manejos de N para a análise conjunta (Figura 2). Os maiores valores foram encontrados para o tratamento M1 (área de referência) que diferiu dos demais pelo fornecimento de nitrogênio. Verifica-se, ainda na Figura 2, que os tratamentos M1, M2, M3, e M4 apresentaram maior número de grãos por planta que os demais tratamentos, indicando maior eficiência do fertilizante aplicado.

Analisando a Figura 2, portanto, verifica-se que a maior produtividade de grãos do tratamento M1 (área de referência) não se diferenciou do tratamento M6 em que não houve aplicação de N em cobertura, indicando economia ao produtor pela possibilidade de redução da dose de nitrogênio aplicada.



**Figura 2.** Análise conjunta dos componentes de produção e produtividade para os três anos de cultivo do feijoeiro de inverno monitorado com clorofilômetro portátil e coinoculado com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*

### 2.3.3 Análise multivariada dos componentes

A análise multivariada dos componentes principais para as variáveis relacionadas aos manejos de adubação do feijoeiro (Tabela 5), permitiu a identificação de dois componentes principais com autovalores maiores que 1,0 no ano de 2016 (3,30 e 2,22 para os componentes 1 e 2, respectivamente), 2017 (3,49 e 2,03 para os componentes 1 e 2, respectivamente) e 2018 (2,78 e 2,01 para os componentes 1 e 2, respectivamente).

**Tabela 6.** Autovalores, quantidade de variância explicada, autovetores e coeficientes de correlação dos componentes principais para as variáveis relacionadas aos manejos de adubação do feijoeiro de inverno, na safra 2016.

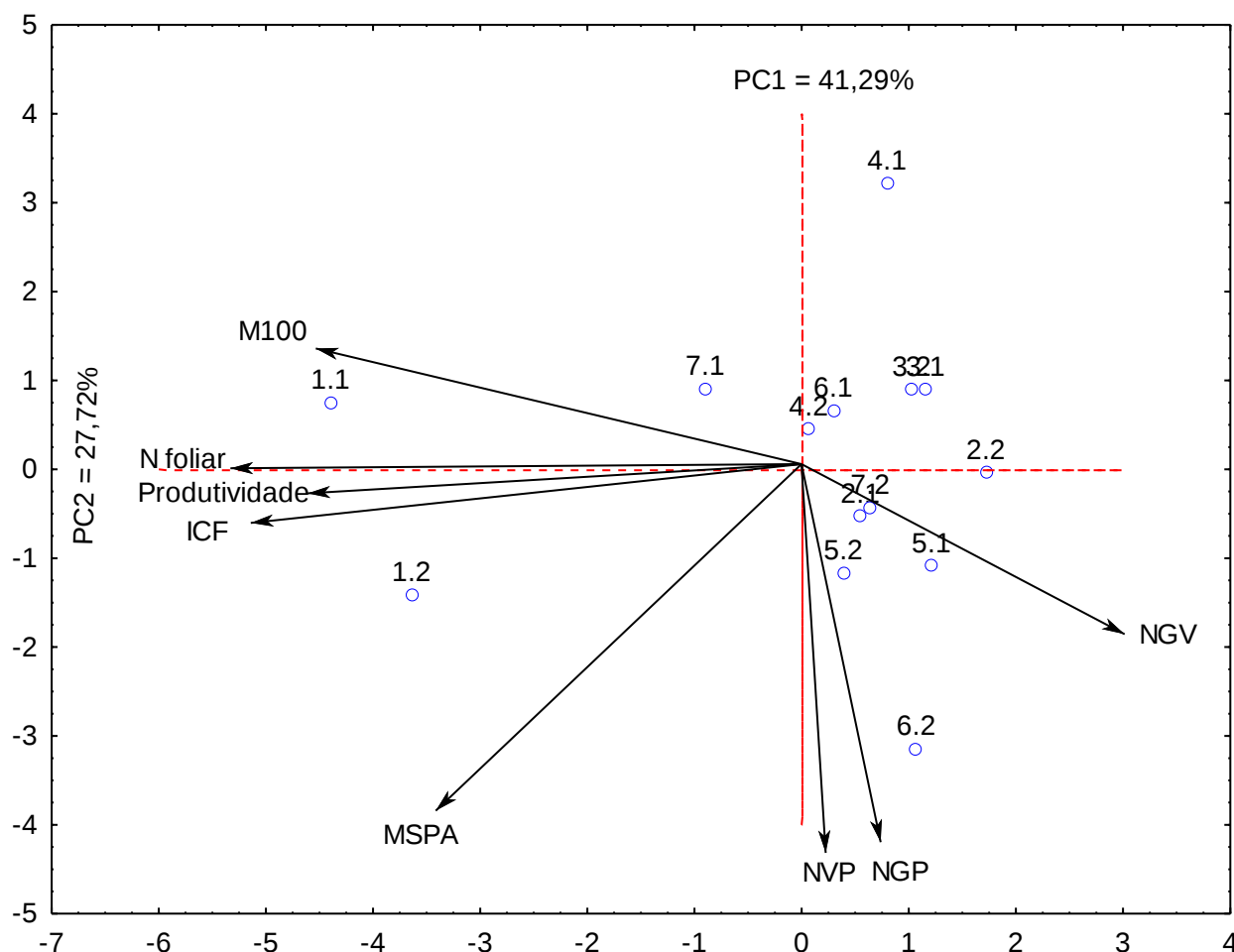
| Componentes                          | CP1            | CP2            |
|--------------------------------------|----------------|----------------|
| Autovalores                          | 3,30           | 2,22           |
| Variância explicada (%)              | 41,29          | 27,72          |
| Variância acumulada (%)              | 41,29          | 69,02          |
| Autovetores (Correlação)             |                |                |
| MSPA (kg ha <sup>-1</sup> )          | -0,35 (-0,64)  | -0,40 (-0,60)  |
| NVP (nº)                             | 0,04 (0,06)    | -0,61 (-0,91*) |
| NGV (nº)                             | 0,38 (0,68)    | -0,24 (-0,36)  |
| NGP (nº)                             | 0,11 (0,20)    | -0,24 (-0,94*) |
| Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) | -0,45 (-0,82*) | -0,05 (-0,08)  |
| M100 (g)                             | -0,27 (-0,48)  | 0,06 (0,09)    |
| ICF                                  | -0,45 (-0,83*) | -0,06 (-0,09)  |
| N foliar (g kg <sup>-1</sup> )       | -0,49 (-0,88*) | -0,01 (-0,02)  |

\*Correlação significativa entre as variáveis e os componentes principais.

Em 2016, os componentes principais (CP) permitem compreender relações entre manejos de adubação e os componentes de produção do feijão. Verificou-se que 69% das informações originais foram retidas nos dois componentes (Tabela 6), sendo 41,29% no componente 1 e 27,72% no componente 2.

Houve ação conjunta das variáveis produtividade de grãos, índice de clorofila e teor de nitrogênio foliar para o CP1. Para o CP2 observou-se maiores coeficientes de correlação nas variáveis número de vagens por planta e número de grãos por planta.

A partir da Figura 3, é possível observar tendência a maior produtividade de grãos, ICF e NF nos manejos M1 e M2 que receberam maiores doses de N, total de 200 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.



**Figura 3.** Variáveis relacionadas aos manejos de adubação do feijoeiro de inverno coinoculado com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, na safra 2016.

Verifica-se maior tendência a número de vagens e de grãos por planta nos tratamentos M5 e M6 sem aplicação de nitrogênio em cobertura, porém inoculados com *Rhizobium tropici* nas sementes.

No segundo ano, 2017, os dados também apresentaram valor de 69% para os componentes principais, com 43,71 para CP1 e 25,43 para CP2 (Tabela 6).

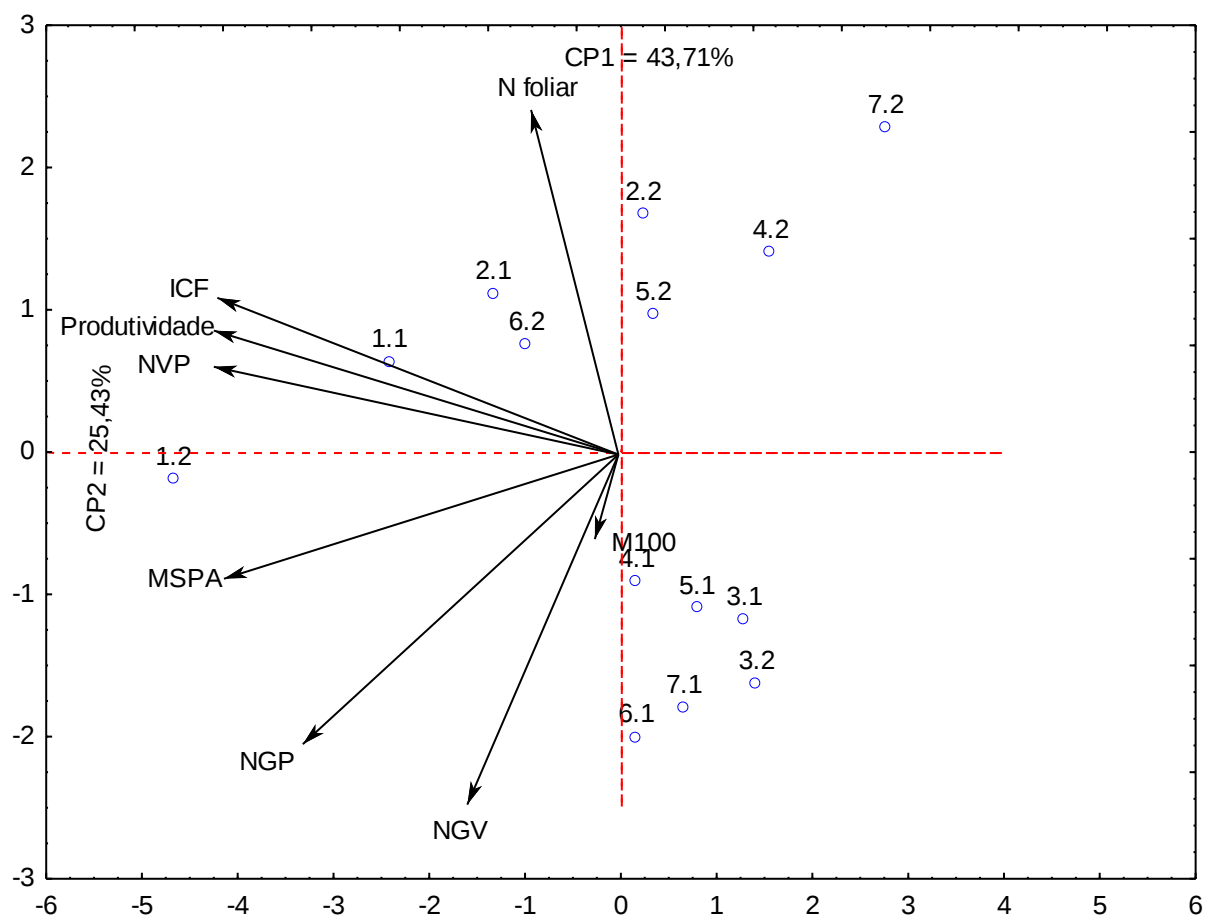
**Tabela 7.** Autovalores, quantidade de variância explicada, autovetores e coeficientes de correlação dos componentes principais para as variáveis relacionadas aos manejos de adubação do feijoeiro de inverno, na safra 2017.

| Componentes | CP1  | CP2  |
|-------------|------|------|
| Autovalores | 3,49 | 2,03 |

|                                      |                |                |
|--------------------------------------|----------------|----------------|
| Variância explicada (%)              | 43,71          | 25,43          |
| Variância acumulada (%)              | 43,71          | 69,14          |
| <hr/>                                |                |                |
| Autovetores (Correlação)             |                |                |
| <hr/>                                |                |                |
| MSPA (kg ha <sup>-1</sup> )          | -0,44 (-0,82*) | -0,18 (-0,26)  |
| NVP (n°)                             | -0,48 (-0,90*) | -0,13 (0,19)   |
| NGV (n°)                             | -0,17 (-0,32)  | -0,51 (-0,73*) |
| NGP (n°)                             | -0,36 (-0,67)  | -0,43 (-0,61)  |
| Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) | -0,46 (-0,85*) | 0,18 (0,25)    |
| M100 (g)                             | -0,02 (-0,05)  | -0,12 (-0,18)  |
| ICF                                  | -0,45 (-0,84*) | 0,23 (0,32)    |
| N foliar (g kg <sup>-1</sup> )       | -0,12 (-0,22)  | 0,63 (0,91*)   |

\*Correlação significativa entre as variáveis e os componentes principais.

A massa seca da parte aérea destacou-se com correlação negativa com o CP1, de 0,64 no primeiro ano (Figura 3) e de 0,82 no segundo ano (Figura 4), com o tratamento M2 tendenciando a maior MSPA, o que demonstra que a adubação recomendada para o feijoeiro de 100 kg ha<sup>-1</sup> promove o desenvolvimento adequado das plantas.



**Figura 4.** Variáveis relacionadas aos manejos de adubação do feijoeiro de inverno coinoculado com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, na safra 2017.

Além disso, a produtividade de grãos (0,85) e ICF (0,84) também apresentam correlação negativa com o CP1, tendenciando os tratamentos M1 e M2, com e sem inoculação de *Rhizobium tropici* e M6 com *Rhizobium tropici* a apresentarem o mesmo comportamento.

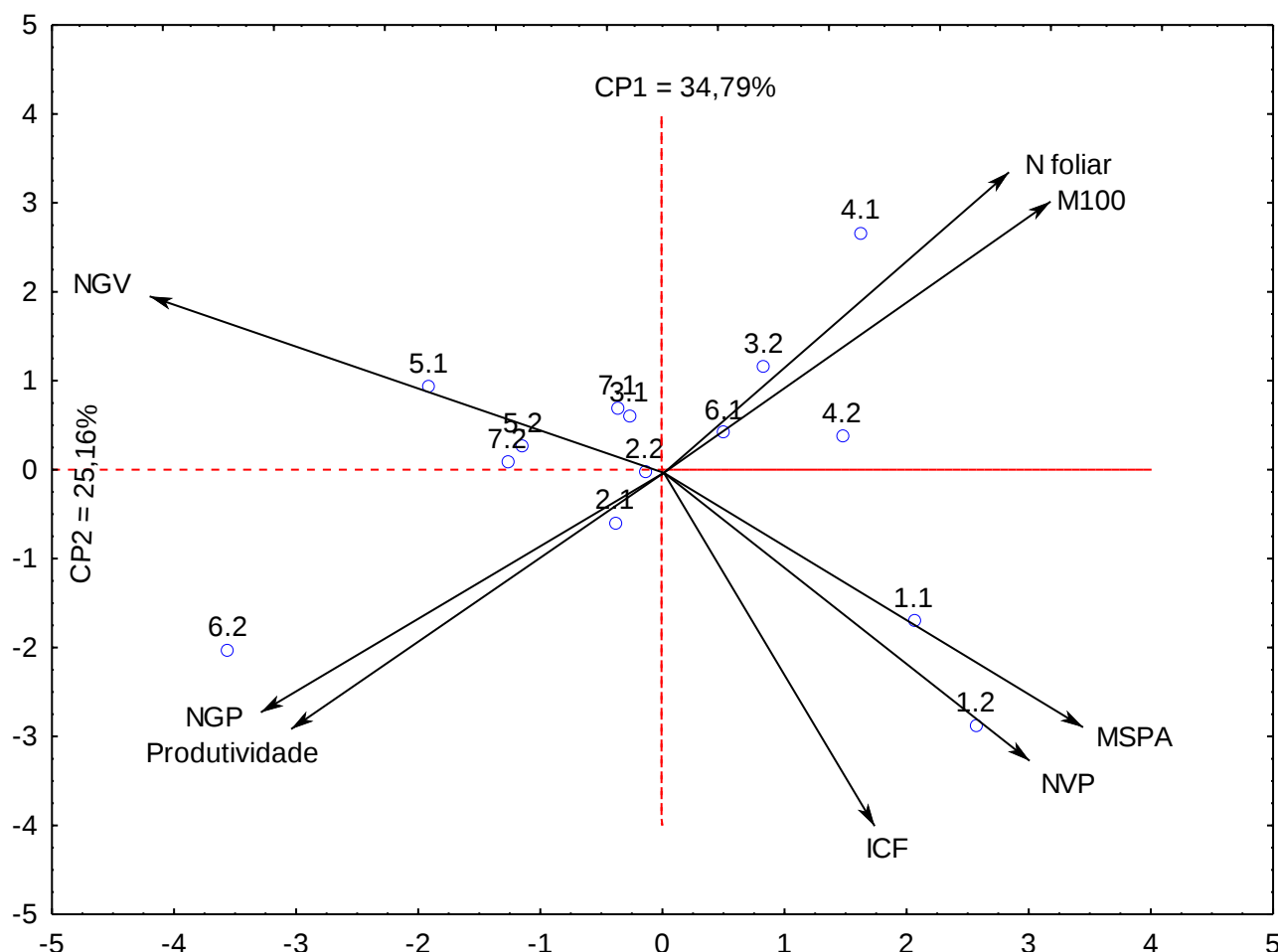
O teor de N foliar apresentou correlação positiva com a CP2 (0,91), e através da Figura 4 nota-se que os tratamentos M2, M4, M5, M6 inoculados com *Rhizobium tropici* tendenciam a apresentar maior concentração de nitrogênio foliar. Lembrando que nesse segundo ano os tratamentos receberam adubação de cobertura, indicado pelas leituras com o clorofilômetro portátil, aos 30 DAE.

No terceiro ano, 2018, os dados apresentaram valor de 59% para os componentes principais, com 34,79 para CP1 e 25,16 para CP2 (Tabela 7). Apenas a variável número de grãos por planta (0,74) foi significativa para o CP1. Para o CP2, observou-se maior coeficiente de correlação no índice de clorofila foliar (0,81), que a partir da Figura 5 é possível notar tendência do tratamento M1, com e sem inoculação com *Rhizobium tropici*, a apresentar maior ICF.

**Tabela 8.** Autovalores, quantidade de variância explicada, autovetores e coeficientes de correlação dos componentes principais para as variáveis relacionadas aos manejos de adubação do feijoeiro de inverno, na safra 2018.

| <b>Componentes</b>                   | <b>CP1</b>     | <b>CP2</b>     |
|--------------------------------------|----------------|----------------|
| Autovalores                          | 2,78           | 2,01           |
| Variância explicada (%)              | 34,79          | 25,16          |
| Variância acumulada (%)              | 34,79          | 59,94          |
| <b>Autovetores (Correlação)</b>      |                |                |
| MSPA (kg ha <sup>-1</sup> )          | 0,37 (0,61)    | -0,28 (-0,41)  |
| NVP (nº)                             | 0,38 (0,63)    | -0,38 (-0,54)  |
| NGV (nº)                             | -0,39 (-0,64)  | 0,16 (0,23)    |
| NGP (nº)                             | -0,44 (-0,74*) | -0,36 (-0,51)  |
| Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) | -0,35 (-0,58)  | -0,32 (-0,45)  |
| M100 (g)                             | 0,27 (0,45)    | 0,25 (0,35)    |
| ICF                                  | 0,26 (0,43)    | -0,57 (-0,81*) |
| N foliar (g kg <sup>-1</sup> )       | 0,34 (0,57)    | 0,36 (0,51)    |

\*Correlação significativa entre as variáveis e os componentes principais.



**Figura 5.** Variáveis relacionadas aos manejos de adubação do feijoeiro de inverno coinoculado com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, na safra 2018.

## 2.4 DISCUSSÃO

### 2.4.1 População final de plantas, massa seca parte aérea e concentração de N foliar

O tratamento M1, que recebeu uma super dose de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), para ter maior concentração do nutriente nas plantas e, assim comparar com as leituras nos demais tratamentos, aumentou a massa seca da parte aérea. Chidi *et al.* (2002) relataram que a MSPA do feijoeiro aumentou linearmente até a dose de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio em cobertura.

Esse resultado se deve à maior disponibilidade de N no solo em função da adubação realizada neste tratamento referência e, consequentemente, maior absorção pelas plantas, o que possibilitou o aumento da massa seca, pois o N tem influência direta na fotossíntese e crescimento da planta, sendo parte integrante da molécula de clorofila (BERNARDES *et al.*, 2014).

Crusciol *et al.* (2007) também observaram incremento na MSPA com a aplicação de N no feijão em sistema plantio direto, independentemente da fonte utilizada (nitrocálcio e ureia) proporcionado pelas maiores doses de N aplicadas, pois esse nutriente aumenta o teor de

clorofila (SORATTO *et al.*, 2004), o crescimento e o índice de área foliar e, consequentemente, as taxas de fotossíntese líquida, desde que mantidas as condições ambientais adequadas, principalmente, temperatura e água disponível.

#### **2.4.2 Componentes de produção e produtividade**

A maior produtividade de grãos do feijoeiro no ano de 2017, pode estar relacionada as melhores condições climáticas, visto que se utilizou a mesma cultivar (BRS Estilo) e a fertilidade do solo apresentava-se uniforme (Tabela 1). No ano de 2018 houve menor potencial para o desenvolvimento da cultura do feijão, acarretando menor produtividade de grãos devido à menor população de plantas e condições climáticas do Cerrado em Selvíria/MS, com ausência de precipitação e elevadas temperaturas máximas e mínimas, mesmo no período de inverno (Figura 1C).

Os componentes de produção número de grãos por vagem e a massa de 100 grãos são pouco influenciados com as alterações no meio de cultivo, por ser de alta herdabilidade, portanto, está mais relacionada com a cultivar utilizada (SILVA *et al.*, 2002; Soratto *et al.*, 2004), o que corrobora com o resultado obtido na presente pesquisa, que em função dos manejos de nitrogênio não apresentaram variação. Uma vez que, em condições climáticas adversas o feijoeiro preferencialmente formará poucos grãos nas vagens fixadas, ao contrário de muitos e mal formados (CRUSCIOL *et al.*, 2007).

Avaliando as médias de produtividade e com base nas informações de Ambrosano *et al.* (1997), pode-se inferir que no ano de 2016 para expectativa de produtividade entre 2,5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> e alta classe de resposta ao N, a recomendação seria de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura. No entanto, pelo monitoramento com o clorofilômetro não foi necessária a aplicação de N, possibilitando economia de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N. Já para a produtividade de grãos de 2017, entre 3,5 – 4,5 t ha<sup>-1</sup>, com alta classe de resposta recomenda-se 90 kg ha<sup>-1</sup> de N. Entretanto, pelas leituras do clorofilômetro, o ISN foi menor que 90% apenas aos 30 DAE, aplicando-se, portanto, 20 ou 30 kg ha<sup>-1</sup>, de acordo com os tratamentos, o que permitiu economia de 70 ou 60 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No ano de 2018, também com produtividades entre 2,5 – 3,5 t ha<sup>-1</sup> e alta classe de resposta, a recomendação seria de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, sendo que as leituras com clorofilômetro não indicaram necessidade de N, economizando, portanto, 70 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Notou-se, portanto, que mesmo nos tratamentos sem aplicação de N em cobertura foi possível obter excelentes médias de produtividade de grãos, o que pode estar relacionado à FBN pelas bactérias presentes na área e inoculadas com *Rhizobium tropici* nas sementes, em razão do equilíbrio biológico visto que a área se encontra em sistema plantio direto há mais de vinte anos, com rotação de culturas e manutenção do solo com palhada. Neste contexto, Kluthcouski

*et al.* (2005) afirmaram que em áreas sob longo período em sistema plantio direto o aporte de N é bastante representativo, o que permite obter boas produtividades de grãos na cultura do feijão (em torno de 3.000 kg ha<sup>-1</sup>) com aplicação de pequena dose de N na semeadura.

Os mesmos resultados foram observados por Maia *et al.* (2017) que, em tratamento sem a aplicação de N, obtiveram altas produtividades de grãos, provavelmente, devido ao elevado teor de N total e inorgânico presentes no solo e pela elevada quantidade de palhada na superfície do solo, que pode favorecer o processo de fixação simbiótica de N<sub>2</sub>, devido à menor oscilação da temperatura e maior teor de água no solo (SORATTO *et al.*, 2013).

Silveira e Gonzaga (2016) concluíram que cada 0,1 ponto percentual de redução no ISN para se atingir o nível adequado (trabalharam com ISN de 95 %), deve-se aplicar 1,1-1,5 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura.

Em trabalho com o clorofilômetro para determinação do ISN em feijão inoculado com *Rhizobium tropici*, Silveira e Ferreira (2016) também verificaram que em um dos anos de cultivo, o ISN do tratamento com inoculação foi aproximadamente o mesmo usado para o feijoeiro (95%), não sendo necessário aplicação de N em cobertura.

A coinoculação com *Azospirillum brasilense* resultou em produtividade de grãos equivalente às plantas dos tratamentos não inoculado nos três anos de produção. Buzo *et al.* (2019), nas mesmas condições do presente experimento, também não verificaram efeito da aplicação foliar de *A. brasilense*.

Steiner *et al.* (2019), avaliando eficácia da coinoculação com essas mesmas bactérias na produtividade de grãos do feijoeiro em solos arenosos de áreas de Cerrado, também verificaram que a inoculação com *A. brasilense* não foi uma prática agrônômica eficiente para ser utilizada no cultivo do feijoeiro nas condições brasileiras e afirmou que a resposta positiva da inoculação das sementes com *Rhizobium* e *Azospirillum* na produtividade de grãos depende das condições ambientais durante a safra de produção, especialmente da menor taxa de precipitação pluvial por estimular a nodulação das raízes.

Os autores Remans *et al.* (2008) e Yadegari *et al.* (2010), todavia, verificaram que a inoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* em plantas de feijão tem demonstrado grande potencial para aumentar a nodulação e o crescimento dessas plantas, podendo incrementar a produtividade de grãos. Resultados positivos dessa associação foram confirmados por Hungria *et al.* (2013), que observaram incrementos de 19,6% para a produtividade do feijoeiro coinoculado, em comparação com população de bactérias nativas, e de 14,7% em comparação com a inoculação exclusivamente com *Rhizobium*.

Destaca-se ainda a significância da cultivar utilizada, BRS Estilo, em apresentar eficiência agrônômica de uso e responsividade ao nitrogênio, como observado por Fageria *et al.* (2014) e Leal *et al.* (2019), que mesmo em menores doses de N aplicado, a cultivar BRS Estilo foi responsivo no acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro em R<sub>9</sub>, e esses atributos da planta podem estar correlacionados com a produtividade.

Em suma, essas respostas dependem de processos morfofisiológicos e bioquímicos que afetam a absorção, assimilação de compostos orgânicos, mobilização e redistribuição do nutriente nos órgãos vegetais (FAGERIA; MELO; OLIVEIRA, 2013; FAGERIA *et al.*, 2014).

#### **2.4.3 Análise multivariada dos componentes**

Pela análise multivariada, constatou-se correlação entre as variáveis teor de N foliar, produtividade de grãos, índice de clorofila foliar no ano de 2016, sendo que para as duas últimas variáveis também houve correlação no ano de 2017. Isso permite inferir que a determinação indireta do índice de clorofila foliar com o uso do clorofilômetro auxilia no manejo da adubação nitrogenada em cobertura, refletindo na produtividade de grãos.

Além disso, ressalta-se o que tratamento M1, área de referência com uso de total de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, tem tendência a apresentar o maior índice de clorofila foliar. Como já foi apresentado, o teor de nitrogênio foliar mediante a leitura indireta do índice relativo de clorofila (IRC) na folha que se correlaciona com a concentração de N na planta. Além disso, pode incrementar a produtividade de grãos, devido à alta dose utilizada, para que as plantas avaliadas não apresentem deficiências desse macronutriente.

No entanto, na agricultura moderna, com o avanço de técnicas e tecnologias disponíveis, para empregarem no sistema de produção deve-se recorrer àquelas que beneficiam a produtividade de grãos, porém sejam lucrativas, e deve se equilibrar aos objetivos ambientais. Busca-se produzir mais e gastar-se menos (financeiramente), além de preservar o ambiente, visto a importância do manejo adequado da adubação com a possibilidade de redução nas doses de fertilizantes minerais.

## **2.5 CONCLUSÕES**

O monitoramento na cultura do feijão de inverno por meio do clorofilômetro portátil permite a redução da adubação mineral nitrogenada em cobertura em áreas de sistema plantio direto consolidado, com economia de 70 a 90 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, para alta classe de resposta e expectativas de produtividade elevadas.

A determinação indireta do índice de clorofila foliar com o uso do clorofilômetro auxilia no manejo da adubação nitrogenada em cobertura, refletindo na produtividade de grãos.

A inoculação com *Rhizobium tropici* proporciona altas produtividades de grãos de feijão, com maior eficiência e economia de fertilizantes nitrogenados.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; CANTARELLA, H. Feijão. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1997. p. 194-195.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO, JUNIOR, W. **AgroEstat** - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015. 396 p.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1843-1848, 2008.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 425-431, 2009.
- BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M.; MESQUITA, M. A. M.; CUNHA, P. C. R. Resposta do feijoeiro de outono-inverno a fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, p. 458-468, 2014.
- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, n. 1, p. 56-60, 1995.
- BUZO, F. S.; GARÉ, L. M.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; MEIRELLES, F. C.; GARCIA, N. F. S. Interaction between thidiazuron and *Azospirillum brasilense* on yield characteristics and productivity of rice. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, p. 244- 249, 2019.
- CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. L. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; SOUZA, E.; ZORITA, M. D.; BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 56, p. 461-479, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- ;

CHIDI S. N.; SORATTO, R. P.; SILVA, T. R. B.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Nitrogênio via foliar e em cobertura em feijoeiro irrigado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 24, p. 1391-1395, 2002.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos Safra 2020/21 – quarto levantamento. Brasília: CONAB. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 30 jan. 2021.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1545-1552, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600031>. Acesso em: 05 abr. 2020.

FAGERIA, N. K.; FERREIRA, E. P. B.; MELO, L. C.; KNUPP, A. M. Genotypic Differences in dry bean yield and yield components as influenced by nitrogen fertilization and rhizobia. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova York, v. 45, n. 12, p.1583-1604, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.875204>. Acesso em: 12 out. 2020.

FAGERIA, N. K.; MELO, L. C.; OLIVEIRA, J. Nitrogen use efficiency in dry bean genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 36, n. 14, p. 2179-2190, 2013.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crops 2018**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 28 nov. 2020.

FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LOPES, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol (Phaseolus vulgaris L.)**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 34 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FILLA, V.A.; COELHO, A.P.; LEAL, F.T.; BETTIOL, J.V.T.; LEMOS, L.B. Portable chlorophyll meter in monitoring and management of nitrogen in common bean cultivars. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, Cuyo, v. 52, n. 2, p. 64-77, 2020.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

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

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Soybean Seed Co-Inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, New York, v. 6, p. 811-817, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.66087>. Acesso em: 15 dez. 2020.

KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, Williamsburg, v. 23, p. 187-200, 1958. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02289233>. Acesso em: 10 jan. 2021.

LEAL, F. T.; FILLA, V. L.; BETTIOL, J. V. T.; SANDRINI, F. O. T.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B. Use efficiency and responsivity to nitrogen of common bean cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943004919>. Acesso em: 12 nov. 2020.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; LIEBE, S. M.; ALMEIDA, A. Q. Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, p. 512-520, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000700005>. Acesso em: 12 jan. 2021.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. Uso do índice de suficiência de nitrogênio na estimativa de adubação nitrogenada em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 183-191, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100019>. Acesso em: 20 jan. 2021.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F. Aspectos climáticos no feijoeiro. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L.** Botucatu: FEPAF, 2015. p. 65-75.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

REMANS, R.; RAMAEKERS, L.; SCHELKENS, S.; HERNANDEZ, G.; GARCIA, A.; REYES, J. L.; MENDEZ, N.; TOSCANO, V.; MULLING, M.; GALVEZ, L.; VANDERLEYDEN, J. Effect of Rhizobium–*Azospirillum* coinoculation on nitrogen fixation and yield of two contrasting *Phaseolus vulgaris* L. genotypes cultivated across different environments in Cuba. **Plant Soil**, Madison, v. 312, p. 25-37, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9606-4>. Acesso em: 12 dez. 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. C. F.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Inoculantes microbianos: revisando o passado, discutindo o presente e prevendo um futuro marcante para o uso de bactérias benéficas na agricultura. **AMB Expr**, Münster, v. 9, p. 205, 2019. Disponível em: [10.1186/s13568-019-0932-0](https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0). Acesso em: 12 abr. 2020.

SILVEIRA, P. M.; FERREIRA, E. P. B. **Índice de suficiência de nitrogênio determinado pelo clorofilômetro em feijão inoculado com rizóbio e sob adubação nitrogenada**. Santo

Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016. 16 p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

SILVEIRA, P. M.; GONZAGA, A.C.O. Portable chlorophyll meter can estimate the nitrogen sufficiency index and levels of topdressing nitrogen in common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 1-6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742128>. Acesso em: 20 dez. 2020.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 895-901, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900009>. Acesso em: 20 dez. 2020.

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, DF, v. 48, p. 1351-1359, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000006>. Acesso em: 28 dez. 2020.

STEINER, F.; FERREIRA, H. C. P.; ZUFFO, A. M. Can co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* increase common bean nodulation and grain yield? **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 1, p. 81-98, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p81>. Acesso em: 06 jan. 2021.

YADEGARI, M.; RAHMANI, H. A.; NOORMOHAMMADI, G.; AYNEBAND, A. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 33, n. 12, p. 1733-1743, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2010.503776>. Acesso em: 12 mar. 2021.

### 3 EFICIÊNCIA DO MONITORAMENTO COM O CLOROFILÔMETRO PORTÁTIL NAS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES FOLIARES E MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA EM FEIJÃO DE INVERNO INOCULADO COM BACTÉRIAS

#### Resumo

O uso do clorofilômetro portátil é uma maneira prática, rápida e não destrutiva de avaliar o índice relativo de clorofila nas folhas, que se correlaciona com a concentração de nitrogênio (N) foliar, e assim, auxiliar na tomada de decisão da adubação nitrogenada em cobertura. Objetivou-se avaliar as concentrações dos macronutrientes foliares do feijoeiro de inverno, cultivar BRS Estilo, de N na parte aérea, acumulado e nos grãos de feijão, e a correlação com as leituras do índice relativo de clorofila foliar, em função do manejo da adubação nitrogenada com o clorofilômetro portátil e inoculação com bactérias diazotróficas. O experimento foi conduzido por três anos, na safra de inverno (2016, 2017 e 2018), em área de Cerrado brasileiro sob sistema plantio direto consolidado, em Selvíria, MS. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, dispostos em esquema de faixas, com ou sem inoculação de sementes com *Rhizobium tropici* e os tratamentos foram constituídos pela combinação de 7 manejos de adubação nitrogenada de cobertura [M1: 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 80 kg ha<sup>-1</sup>, aos 10 dias após emergência (DAE) + 80 kg ha<sup>-1</sup>, aos 20 DAE (tratamento referência); M2: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 40 kg ha<sup>-1</sup>, aos 10 DAE + 40 kg ha<sup>-1</sup>, aos 20 DAE (dose recomendada); M3: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam índice de suficiência de nitrogênio (ISN) ISN < 90%; M4: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; M5: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; M6: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as leituras do clorofilômetro indicavam ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura)], com quatro repetições. Concluiu-se que as leituras do índice de clorofila foliar apresentam correlações positivas com a concentração de nitrogênio foliar, dos 15 aos 34 DAE, sendo o monitoramento com clorofilômetro eficiente para estimativa das necessidades de N da cultura do feijão, antes do florescimento. O aumento nas doses de N aplicado em cobertura promoveu acréscimo nas concentrações de N, na massa seca da parte aérea e nos grãos do feijoeiro em função dos manejos com adubação nitrogenada. A coinoculação de sementes com *Rhizobium tropici* e a aplicação foliar de *Azospirillum brasilense*

não interferem nos atributos nutricionais avaliados, porém a inoculação com *Rhizobium tropici* incrementou a concentração de N foliar e na parte aérea do feijão de inverno.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. *Rhizobium tropici*. *Azospirillum brasilense*. Índice de suficiência de nitrogênio. Índice de clorofila foliar.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O cultivo do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) ocupa uma área de aproximadamente 3 milhões de hectares no Brasil, sendo produzido por agricultores de diversos perfis, em diferentes escalas, regiões e sistemas de produção. Seu cultivo tem expandido em áreas de sistema plantio direto (SPD), que apresenta benefícios para a agricultura sustentável com maior preservação do solo, devido ao mínimo revolvimento e cobertura permanente, além dos incrementos nas condições físicas, químicas e biológicas desse solo, com a rotação de culturas.

No entanto, ainda se compreende pouco as exigências nutricionais do feijoeiro cultivado em solo sob SPD recém-implantado ou consolidado, por diferentes períodos de tempo, já que isso pode alterar a disponibilidade de nutrientes e a resposta das culturas à adubação nitrogenada, a qual apresenta o manejo mais complexo (PEREZ *et al.*, 2013).

O feijoeiro possui alta exigência de N, que se destaca como o nutriente mais extraído pela cultura, contribuindo assim para o processo fotossintético e, conseqüentemente, para o aumento da produtividade (FAGERIA *et al.*, 2014). Além disso, é o nutriente mais absorvido e removido pelo feijão, dada a alta concentração de N nos grãos e outros tecidos da planta (PEREZ *et al.*, 2013; SORATTO *et al.*, 2013b).

Estudos avaliando as doses de N a serem aplicadas na cultura do feijão-comum demonstram variações nas respostas obtidas, em função dos manejos e tratos culturais, cultivares utilizadas e principalmente época de aplicação, visto a complexidade desse nutriente no sistema solo-planta. Soratto *et al.* (2013a) alcançaram altas produtividades nesta cultura mesmo sem fertilização de N em cobertura, em sistema de plantio direto. Por outro lado, Amaral *et al.* (2016) avaliaram a produtividade de grãos, a produtividade de proteína bruta nos grãos e a eficiência agrônômica no feijoeiro e verificaram incrementos com o uso de N em cobertura.

Segundo a recomendação de Ambrosano *et al.* (1997), o feijão comum requer pelo menos 70 kg ha<sup>-1</sup> de N para obter alta produtividade de grãos, dependendo do histórico da área onde será cultivado. Este nutriente está presente no solo principalmente em formas orgânicas,

e apenas uma pequena parte é encontrada em formas minerais como o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que são utilizáveis pelas plantas (RAIJ, 2011).

Além disso, a simbiose leguminosa-rizóbio leva ao processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), que muitas vezes pode suprir totalmente as demandas da planta sobre N. O uso de inoculantes para o feijão favorece a produtividade, mas ainda não é possível substituir completamente os fertilizantes nitrogenados, principalmente em solos onde a concentração de N é muito baixa (Santos *et al.*, 2019). Logo, faz-se necessário a suplementação com adubação nitrogenada em cobertura.

É crescente o uso de inoculantes no Brasil, principalmente nas culturas da soja (*Glycine max* (L.) Merr.), feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), Milho (*Zea mays* L.) e, recentemente, a coinoculação de soja e feijão com rizóbio e *Azospirillum* (HUNGRIA *et al.*, 2013 e 2015). A coinoculação visa ampliar o desempenho da FBN com a combinação de bactérias do gênero *Rhizobium*, amplamente utilizado pelos produtores, com a inoculação de *Azospirillum brasilense*, bactéria que tem demonstrado promover o crescimento em gramíneas (BETTIOL *et al.*, 2020).

O clorofilômetro tem sido usado com sucesso para uma estimativa rápida e direta do índice de clorofila foliar (ICF) nas folhas de algumas culturas. Também, na cultura do feijão pode auxiliar na avaliação do teor de N foliar, visto que apresenta correlação significativa com a intensidade do verde e o teor de clorofila (DWYER *et al.*, 1995) e inferir na tomada de decisão do momento de aplicar o fertilizante nitrogenado em cobertura (MAIA *et al.*, 2012).

Os níveis de nutrientes em determinados estádios de desenvolvimento influenciam a produtividade de grãos de vegetais economicamente importantes. Para otimizar os rendimentos, os agricultores usam análises dos níveis de nutrientes no solo e nos tecidos vegetais, a fim de determinar o calendário de fertilizações (TAIZ; ZEIGER, 2017).

O diagnóstico de nitrogênio decorrente da leitura de clorofila na planta já foi verificado por Silveira *et al.* (2003), Soratto *et al.* (2005), Sant'Ana *et al.* (2010), Maia *et al.* (2017), Filla *et al.* (2020) e outros autores. No entanto, Soratto *et al.* (2005) constataram que maiores doses de N disponíveis no solo aumentaram o teor do pigmento, até certo ponto, indicando a não produção de clorofila pelas plantas além da quantidade de que necessitam, ou que outros fatores podem limitar o aumento do teor de clorofila.

Sendo assim, como avaliar a eficiência dessas leituras por meio do clorofilômetro portátil?

Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar as concentrações nutricionais dos macros e micronutrientes, principalmente o N, nas folhas, plantas e grãos do feijoeiro de inverno e a

correlação com as leituras do índice relativo de clorofila, em função do manejo da adubação nitrogenada com o clorofilômetro portátil.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Localização do experimento

O experimento foi desenvolvido em condições de Cerrado, durante três anos agrícolas no período de outono-inverno 2016, 2017 e 2018, no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul - Brasil, (51° 22' W, 20° 22' S, com altitude de 335 metros). A área experimental encontra-se em sistema plantio direto consolidado há mais de vinte anos, sendo anteriormente cultivada com soja no verão (2013/14 e 2014/15), milho segunda safra e rotação com plantas de cobertura, ocupada por milheto (*Pennisetum glaucum*) nos três anos de experimento antes do cultivo de feijão.

O clima predominante da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo a classificação Köppen. A precipitação pluvial média anual da região é de 1.313 mm, com temperatura máxima anual de 31 °C, mínima anual de 19 °C e média anual de 25 °C (Portugal, Peres e Rodrigues, 2015).

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, argiloso (Santos *et al.*, 2018). Antes da instalação, nos três anos, foram coletadas amostras de solo da área experimental e realizada a análise química de acordo com metodologia proposta por van Raij *et al.* (2001), que estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise química do solo da área experimental na camada de 0,00 a 0,20 m, nos três anos agrícolas de cultivo do feijoeiro de inverno (Selvíria, MS, Brasil).

| Ano  | P resina<br>mg dm <sup>-3</sup> | M.O.<br>g dm <sup>-3</sup> | pH<br>CaCl <sub>2</sub> | K<br>----- | Ca | Mg<br>mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | H+Al<br>----- | SB   | CTC | V<br>% |
|------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------|----|------------------------------------------|---------------|------|-----|--------|
| 2016 | 26                              | 16                         | 5,4                     | 1,4        | 23 | 20                                       | 22            | 44,4 | 66  | 67     |
| 2017 | 15                              | 16                         | 5,1                     | 2,0        | 21 | 13                                       | 31            | 36   | 67  | 54     |
| 2018 | 12                              | 22                         | 5,2                     | 1,1        | 24 | 15                                       | 28            | 40,1 | 68  | 59     |

### 3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema de faixas, com ausência ou presença de inoculação com *Rhizobium tropici*. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de 7 manejos: [M1: 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 80 kg ha<sup>-1</sup> aos 10 dias após emergência (DAE) + 80 kg ha<sup>-1</sup> aos 20 DAE (tratamento referência); M2: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 40 kg ha<sup>-1</sup> aos 10 DAE + 40 kg

ha<sup>-1</sup> aos 20 DAE (dose recomendada); M3: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura)], com quatro repetições.

As parcelas experimentais foram constituídas por uma área de 18,90 m<sup>2</sup> com 7 linhas de feijão espaçadas de 0,45 m entre si, com 6,0 metros de comprimento, considerando-se como bordadura as linhas laterais da parcela e mais 1,0 m em ambas as extremidades de cada linha.

### 3.2.3 Instalação e condução do experimento

A semeadura ocorreu mecanicamente no dia 03/05/2016, 25/05/2017, 23/04/2018 utilizando-se a cultivar BRS Estilo, com quantidade de sementes suficientes para obtenção de densidade de 10 plantas m<sup>-1</sup>. A adubação no sulco de semeadura foi realizada com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, segundo recomendações de Ambrosano, *et al.* (1997). A emergência de plantas ocorreu aos seis dias após a semeadura (DAS).

Precedendo a semeadura, as sementes foram tratadas com piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil (Standak Top<sup>®</sup>), nas doses de 5, 45 e 50 g do i.a. para cada 100 kg de sementes, respectivamente. Os tratamentos com inoculação de *Rhizobium tropici* foi efetuada após o tratamento de sementes utilizando-se o inoculante comercial turfoso Masterfix Feijão<sup>®</sup>, com a estirpe Semia 4080 contendo 2x10<sup>9</sup> Ufc g<sup>-1</sup>, na dose de 200 g do inoculante para cada 50 kg de semente e em seguida realizou-se a semeadura.

Os tratamentos com aplicação de *Azospirillum brasilense* via foliar foi realizado no estágio vegetativo V<sub>4</sub>, quando a 3ª folha trifoliada estava plenamente desdobrada e tem início o processo de ramificação da planta, na dose de 200 mL ha<sup>-1</sup> do inoculante, utilizando-se as estirpes AbV<sub>5</sub> e AbV<sub>6</sub> com 2x10<sup>8</sup> Ufc g<sup>-1</sup>, no final do período do dia.

O fornecimento de água, quando necessário, foi realizado por sistema fixo de irrigação por aspersão, levando-se em consideração os dados de precipitação pluvial registrados em Estação Meteorológica, com lâmina d'água média de 15 mm e intervalo de irrigação de aproximadamente três dias.

A fonte de nitrogênio utilizada nas aplicações em cobertura foi ureia, com fornecimento de 45% de N. A primeira aplicação do N em cobertura, nos três anos, foi realizada aos 10 DAE

para os manejos M1 na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> (área de referência) e M2 na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> (dose recomendada), quando as plantas de feijão se encontravam no estágio V3 (primeira folha trifoliolada totalmente expandida). E aos 20 DAE (estádio V4 – terceira folha trifoliolada completamente expandida), aplicou-se a segunda dose de N em cobertura para os manejos M1 e M2.

Apenas no segundo ano (2017), aos 30 DAE (estádio V<sub>4-5</sub>, quando as plantas estavam com a quinta folha trifoliolada completamente expandida) (Fernandez *et al.*, 1986) foi realizada adubação de cobertura para os manejos M3, M4, M5 e M6 que apresentaram ISN abaixo de 90%, determinado no dia anterior (29 DAE).

Assim, os tratamentos receberam as seguintes doses de N no total: [(M1 = 200 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M2 = 100 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M3 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M6 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M7 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N)], nos anos 2016 e 2018.

Enquanto que no ano de 2017 foram utilizados, no total: [(M1 = 200 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M2 = 100 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M3 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M4 = 50 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M5 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M6 = 50 kg ha<sup>-1</sup> de N); (M7 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N)].

### 3.2.4 Amostragem e Análises

O monitoramento do índice de clorofila foliar (ICF) foi realizado semanalmente a partir dos 14 DAE até a fase de florescimento da cultura, ou seja, aos 15, 22, 29, 34 e 41 DAE, empregando-se o clorofilômetro ótico portátil ClorofiLOG (Falker<sup>®</sup>, modelo CFL 3010). As leituras eram feitas pela manhã (08-11h), amostrando-se dez plantas por unidade experimental, nas quais realizou-se uma leitura por folíolo de cada folha trifoliolada avaliada como diagnóstica. O Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN) de 90% definido como mais adequados para a necessidade de N pela cultura e a folha diagnose utilizada foram folhas mais velhas, ou seja, a segunda folha completamente expandida a partir do ápice, na fase inicial do ciclo da cultura, e a terceira, em estádios mais adiantados estabelecidos de acordo com Maia *et al.* (2012).

Com as leituras do ICF, o cálculo do ISN foi obtido da relação das medidas dos valores das leituras do clorofilômetro dos tratamentos (LT) e no tratamento referência M1 (LR) pela equação 1.

$$\text{ISN (\%)} = (\text{LT} / \text{LR}) \times 100 \dots\dots\dots (\text{Eq. 1})$$

Em todas as épocas de avaliação do ICF e por ocasião do florescimento pleno das plantas (R6) foi realizada a coleta de 10 trifólios da última folha trifoliolada completamente desenvolvida na área útil de cada parcela. Posteriormente, esse material foi seco em estufa de ventilação de ar forçado com temperatura à 65 °C até a obtenção de massa constante, e em seguida moídas em moinho tipo Wiley. Determinou-se a concentração dos macros e micronutrientes, segundo metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). E para determinação da concentração de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) nas folhas foi utilizada a metodologia relatada por Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1995).

Nesse momento, foram coletadas 3 plantas por parcela, e após esse material vegetal seco e moído, determinou-se as concentrações de N, segundo metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Com isso, estimou-se o acúmulo desse macronutriente (em g planta<sup>-1</sup>) considerando a massa seca da parte aérea;

Por ocasião do ponto de colheita (R9), uma amostra de grãos de cada unidade experimental foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, durante 24 h. Em seguida, os grãos foram moídos e submetidos à análise para determinação do teor de N, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Posteriormente, multiplicou-se o teor de N pelo fator 6,25 e obteve-se o teor de proteína nos grãos.

### **3.2.5 Análise estatística**

Inicialmente foi realizado o diagnóstico para a análise de variância, analisando a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade dos dados (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019). Todos os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas com o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, usando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011). Também foram estabelecidas as correlações de Pearson para avaliar o grau de correlação linear entre as variáveis N foliar e ICF nas diferentes épocas e N foliar, sendo utilizado o software de programação R Versão 3.51, 2018 e RStudio Versão 1.1.463 – © 2009-2018 RStudio, Inc.

## **3.3 RESULTADOS**

Para o teor de N foliar no florescimento (Tabela 2), no primeiro ano (2016), o tratamento M1(área de referência) que recebeu aplicação total 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, diferiu dos tratamentos que receberam apenas 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, exceto do tratamento M2 (100 kg ha<sup>-1</sup> de

nitrogênio). Já no segundo ano houve diferença apenas para inoculação, onde a aplicação de *Rhizobium tropici* apresentou maior concentração de N foliar (43,1 g kg<sup>-1</sup>).

A FBN é favorecida em condições de menor disponibilidade desse nutriente, pois o fornecimento de N mineral no solo pode resultar na redução da atividade das bactérias (SATURNO *et al.*, 2017).

No segundo ano as parcelas foram adubadas com N em cobertura, de acordo com os tratamentos, M3 e M4 (inoculados com *Azospirillum brasilense*), receberam 20 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, e M5 e M6, apenas com os 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, receberam 20 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, aos 29 DAE, pois segundo as leituras do clorofilômetro apresentavam ISN<90% em relação ao tratamento M1.

Maia *et al.* (2012 e 2013), trabalhando com manejo da adubação nitrogenada em dois cultivares de feijão, também verificaram que o tratamento referência, que recebeu a maior dose de fertilizante mineral nitrogenado, proporcionou maiores teores de N nas folhas do IAC Alvorada e Pérola. Tanto no presente trabalho quanto Maia *et al.* (2012 e 2013), os teores de N foliar estavam muito próximos ou dentro da faixa considerada como adequada para o feijoeiro (30-50 g kg<sup>-1</sup>), em todos os manejos (AMBROSANO *et al.*, 1997).

**Tabela 2.** Concentração de nitrogênio foliar (N), fósforo (P) e potássio (K) do feijoeiro de inverno, em função dos manejos de adubação nitrogenada com clorofilômetro portátil e inoculação com *Rhizobium tropici* nas sementes, nos três anos. Selvíria, MS, Brasil - 2020.

| Trat                                               | N<br>g kg <sup>-1</sup> |       |       | P<br>g kg <sup>-1</sup> |       |       | K     |      |      |
|----------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|------|------|
|                                                    | 2016                    | 2017  | 2018  | 2016                    | 2017  | 2018  | 2016  | 2017 | 2018 |
| <b>Inoculação com <i>Rhizobium tropici</i> (I)</b> |                         |       |       |                         |       |       |       |      |      |
| <b>Sem</b>                                         | 31,8                    | 40,8b | 37,3  | 4,0                     | 5,7   | 4,6   | 20,6  | 18,5 | 19,2 |
| <b>Com</b>                                         | 31,7                    | 43,1a | 36,5  | 4,3                     | 5,6   | 4,7   | 20,5  | 19,2 | 19,8 |
| <b>Manejo do N (N)</b>                             |                         |       |       |                         |       |       |       |      |      |
| <b>M1</b>                                          | 35,6a                   | 43,2  | 37,6  | 4,0                     | 6,0   | 5,0   | 22,7  | 19,3 | 19,4 |
| <b>M2</b>                                          | 31,1ab                  | 44,5  | 35,9  | 3,9                     | 5,5   | 4,8   | 22,0  | 18,3 | 18,4 |
| <b>M3</b>                                          | 30,3b                   | 38,7  | 37,5  | 4,2                     | 5,7   | 4,6   | 19,9  | 18,9 | 19,6 |
| <b>M4</b>                                          | 31,1b                   | 42,2  | 37,3  | 4,2                     | 5,8   | 4,9   | 19,8  | 18,1 | 20,1 |
| <b>M5</b>                                          | 30,6b                   | 42,3  | 38,1  | 4,1                     | 5,4   | 4,6   | 18,5  | 18,1 | 20,0 |
| <b>M6</b>                                          | 30,8b                   | 41,7  | 38,2  | 4,0                     | 5,9   | 4,2   | 20,4  | 19,0 | 19,4 |
| <b>M7</b>                                          | 32,1b                   | 41,1  | 34,0  | 4,3                     | 5,5   | 4,5   | 20,3  | 20,1 | 19,5 |
| <b>Teste F</b>                                     |                         |       |       |                         |       |       |       |      |      |
| <b>I</b>                                           | 0,11                    | 4,97* | 0,42  | 8,46                    | 0,33  | 0,18  | 0,08  | 1,55 | 2,98 |
| <b>N</b>                                           | 5,20**                  | 1,77  | 0,71  | 1,08                    | 0,74  | 0,63  | 3,69  | 0,94 | 1,71 |
| <b>I x N</b>                                       | 0,62                    | 1,42  | 0,05  | 1,24                    | 0,31  | 0,28  | 2,02  | 0,15 | 1,40 |
| <b>CV<sub>I</sub></b>                              | 7,40                    | 18,52 | 6,99  | 8,28                    | 11,55 | 15,92 | 8,65  | 9,87 | 5,38 |
| <b>CV<sub>N</sub></b>                              | 6,27                    | 7,93  | 11,79 | 12,36                   | 7,44  | 13,13 | 12,83 | 4,72 | 7,14 |
| <b>CV<sub>IxN</sub></b>                            | 6,03                    | 6,64  | 8,12  | 7,41                    | 8,22  | 11,84 | 14,88 | 6,35 | 4,70 |
| <b>Médias</b>                                      | 31,7                    | 41,9  | 36,9  | 4,1                     | 5,7   | 4,7   | 20,5  | 18,8 | 19,5 |

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a nível de 5 % de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). CV: coeficiente de variação. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

A concentração de nitrogênio na parte aérea das plantas (Tabela 3) foi incrementado pela inoculação com *Rhizobium tropici* nas sementes, nos anos de 2016 e 2017.

Além disso, o tratamento M1 (com 200 kg ha<sup>-1</sup> N) também aumentou a concentração de N na parte aérea do feijoeiro em 2016 e 2017, diferindo do tratamento M6, com 20 kg ha<sup>-1</sup> N na semeadura, e que recebeu mais 20 kg ha<sup>-1</sup> N aos 29 DAE, apenas em 2017, em função do manejo com clorofilômetro.

Observa-se, também, maior acúmulo de N no tratamento referência (M1), em 2016 e 2017, visto que essa concentração leva em conta a massa seca e o nitrogênio da parte aérea das plantas, em relação ao tratamento M3 e M6.

De acordo com Marschner (2012), o suprimento de N está relacionado ao aumento na fotossíntese, crescimento e duração das folhas, número e tamanho dos órgãos vegetativos e reprodutivos e produção de biomassa. Logo, ocorreram esses incrementos na concentração de N com aumento das doses de N mineral fornecidas, visto que é o nutriente absorvido em quantidade mais elevada, sendo responsável pelo acréscimo da área foliar da planta, o que aumenta a eficiência de interceptação da radiação solar, a taxa fotossintética e que, consequentemente, pode aumentar a produtividade de grãos (FAGERIA; BALIGAR, 2005).

**Tabela 3.** Concentração de nitrogênio na parte aérea (NP<sub>a</sub>), nitrogênio acumulado (N<sub>Ac</sub>) e proteína bruta nos grãos (PB) de feijão de inverno, em função dos manejos de adubação nitrogenada com clorofilômetro portátil e inoculação com *Rhizobium tropici* nas sementes, nos três anos. Selvíria, MS, Brasil - 2020.

| Trat                                               | NP <sub>a</sub><br>g kg <sup>-1</sup> |        |      | N <sub>Ac</sub><br>g kg <sup>-1</sup> |        |      | PB<br>g kg <sup>-1</sup> |        |      |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------|--------|------|---------------------------------------|--------|------|--------------------------|--------|------|
|                                                    | 2016                                  | 2017   | 2018 | 2016                                  | 2017   | 2018 | 2016                     | 2017   | 2018 |
| <b>Inoculação com <i>Rhizobium tropici</i> (I)</b> |                                       |        |      |                                       |        |      |                          |        |      |
| <b>Sem</b>                                         | 14,0b                                 | 21,2b  | 16,8 | 0,14                                  | 0,30   | 0,31 | 27,2                     | 25,9   | 27,7 |
| <b>Com</b>                                         | 12,6a                                 | 23,1a  | 17,5 | 0,15                                  | 0,34   | 0,30 | 27,4                     | 26,3   | 27,7 |
| <b>Manejo do N (N)</b>                             |                                       |        |      |                                       |        |      |                          |        |      |
| <b>M1</b>                                          | 16,0a                                 | 25,1a  | 18,2 | 0,18a                                 | 0,40a  | 0,36 | 28,2a                    | 27,8a  | 28,3 |
| <b>M2</b>                                          | 13,4ab                                | 21,9ab | 16,6 | 0,15ab                                | 0,36ab | 0,27 | 27,6ab                   | 25,8ab | 28,3 |
| <b>M3</b>                                          | 13,9ab                                | 22,8ab | 18,4 | 0,11b                                 | 0,29b  | 0,31 | 27,3ab                   | 25,9ab | 27,1 |
| <b>M4</b>                                          | 13,0ab                                | 23,3ab | 16,5 | 0,14ab                                | 0,37ab | 0,27 | 27,0ab                   | 26,4ab | 27,7 |
| <b>M5</b>                                          | 10,5b                                 | 21,7ab | 16,0 | 0,15ab                                | 0,29ab | 0,31 | 27,2ab                   | 26,2ab | 27,6 |
| <b>M6</b>                                          | 12,5b                                 | 19,3b  | 16,6 | 0,14ab                                | 0,26b  | 0,24 | 27,3ab                   | 26,0ab | 27,8 |
| <b>M7</b>                                          | 13,6ab                                | 21,2ab | 17,6 | 0,15ab                                | 0,29ab | 0,29 | 26,0b                    | 24,8b  | 26,9 |

|                         | <i>Teste F</i> |       |       |        |        |       |        |       |      |
|-------------------------|----------------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|------|
| <b>I</b>                | 6,84*          | 5,27* | 0,38  | 1,84   | 3,08   | 0,83  | 0,40   | 4,60  | 0,00 |
| <b>N</b>                | 5,56**         | 2,70* | 0,33  | 3,57** | 3,54** | 10,33 | 3,21** | 19,3* | 20,9 |
| <b>I x N</b>            | 1,00           | 0,95  | 0,43  | 1,45   | 1,97   | 2,50  | 0,82   | 0,75  | 4,21 |
| <b>CV<sub>I</sub></b>   | 15,14          | 26,47 | 12,38 | 23,71  | 31,20  | 17,75 | 1,54   | 1,87  | 1,42 |
| <b>CV<sub>N</sub></b>   | 12,79          | 12,11 | 23,65 | 19,21  | 20,55  | 23,92 | 2,77   | 7,71  | 2,56 |
| <b>CV<sub>IxN</sub></b> | 17,3           | 14,83 | 12,25 | 27,71  | 31,32  | 26,17 | 3,24   | 5,61  | 2,10 |
| <b>Médias</b>           | 13,3           | 22,2  | 17,2  | 0,15   | 0,32   | 0,30  | 27,3   | 26,2  | 27,7 |

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a nível de 5 % de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). CV: coeficiente de variação. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

A proteína bruta nos grãos também foi influenciada pelo acréscimo nas doses de N aplicadas com o manejo da adubação, portanto, o tratamento de referência (M1) apresentou incremento de 8,5 e 12,0% na concentração de N nos grãos, respectivamente, nos anos 2016 e 2017. Segundo Lajolo *et al.* (1996), pode haver variações no conteúdo proteico dos grãos em função da cultivar, do local de cultivo e das condições ambientais.

Os dados corroboram os resultados de Farinelli e Lemos (2010), em que a aplicação de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, aumentou os valores de proteína bruta, obtendo-se acréscimo de 3,5% em comparação à ausência da adubação em cobertura. E, Soratto *et al.* (2011), que também obtiveram aumento nos teores de proteína bruta nos grãos do feijoeiro com a aplicação de N em cobertura, independentemente da dose (45 ou 90 kg ha<sup>-1</sup>), tanto na ausência da aplicação do elemento via foliar como quando este foi aplicado apenas em uma única ocasião (R<sub>5</sub> ou R<sub>7</sub>).

Houve influência do manejo na adubação nitrogenada nas concentrações de amônio e nitrato, nos anos 2017 e 2016, respectivamente (Tabela 4). O tratamento M1 apresentou maior concentração de  $\text{NH}_4^+$  em 2017, diferindo dos tratamentos M6 e M7. E a concentração de  $\text{NO}_3^-$  teve aumento com a inoculação de *Rhizobium tropici* e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, do tratamento M1.

**Tabela 4.** Concentração de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) foliar no feijoeiro de inverno, em função dos manejos de adubação nitrogenada com clorofilômetro portátil e inoculação com *Rhizobium tropici* nas sementes, nos três anos. Selvíria, MS, Brasil - 2020.

| Trat                                               | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>g kg <sup>-1</sup> |      |      | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>g kg <sup>-1</sup> |      |      |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|------|------|
|                                                    | 2016                                               | 2017 | 2018 | 2016                                               | 2017 | 2018 |
| <b>Inoculação com <i>Rhizobium tropici</i> (I)</b> |                                                    |      |      |                                                    |      |      |
| <b>Sem</b>                                         | 0,09                                               | 0,06 | 0,04 | 0,06b                                              | 0,05 | 0,11 |
| <b>Com</b>                                         | 0,08                                               | 0,06 | 0,05 | 0,07a                                              | 0,05 | 0,11 |
| <b>Manejo do N (N)</b>                             |                                                    |      |      |                                                    |      |      |

|                         |       |        |       |         |       |       |
|-------------------------|-------|--------|-------|---------|-------|-------|
| <b>M1</b>               | 0,12  | 0,08a  | 0,06  | 0,12a   | 0,08  | 0,18  |
| <b>M2</b>               | 0,10  | 0,07ab | 0,05  | 0,06b   | 0,05  | 0,11  |
| <b>M3</b>               | 0,10  | 0,06ab | 0,05  | 0,06b   | 0,05  | 0,13  |
| <b>M4</b>               | 0,09  | 0,06ab | 0,05  | 0,06b   | 0,06  | 0,14  |
| <b>M5</b>               | 0,07  | 0,06ab | 0,04  | 0,05b   | 0,04  | 0,10  |
| <b>M6</b>               | 0,08  | 0,07ab | 0,04  | 0,04b   | 0,04  | 0,08  |
| <b>M7</b>               | 0,06  | 0,05b  | 0,04  | 0,04b   | 0,03  | 0,08  |
| <b>Teste F</b>          |       |        |       |         |       |       |
| <b>I</b>                | 2,98  | 13,97  | 0,61  | 22,03*  | 0,82  | 0,13  |
| <b>N</b>                | 2,39  | 22,91* | 2,03  | 65,97** | 9,30  | 4,82  |
| <b>I x N</b>            | 0,41  | 0,26   | 0,26  | 9,86    | 1,06  | 0,75  |
| <b>CV<sub>I</sub></b>   | 35,42 | 8,91   | 22,13 | 12,76   | 23,60 | 36,86 |
| <b>CV<sub>N</sub></b>   | 19,23 | 12,06  | 9,58  | 11,92   | 19,70 | 31,30 |
| <b>CV<sub>IxN</sub></b> | 13,38 | 16,18  | 14,52 | 16,6    | 18,61 | 23,49 |
| <b>Médias</b>           | 0,09  | 0,06   | 0,05  | 0,06    | 0,05  | 0,11  |

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a nível de 5 % de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). CV: coeficiente de variação. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

Calonego *et al.* (2009) também observaram aumento na concentração de nitrato nas folhas de feijão, à medida que aumentou a dose aplicada de N. Os autores afirmam que a aplicação de doses elevadas de N, pode não resultar em altas produtividades, provavelmente devido ao possível acúmulo de nitrato na planta, resultado da nitrificação do amônio e síntese insuficiente de redutase do nitrato, por falta de molibdênio, micronutriente por fazer parte das enzimas redutase do nitrato e nitrogenase (MARSCHNER, 1995; PESSOA *et al.*, 2000).

Primavesi *et al.* (2005) verificaram que, com a aplicação de nitrato de amônio, as plantas absorveram mais N na forma de nitrato do que quando foi aplicada ureia, sobretudo nas doses mais elevadas de N. Segundo Crusciol *et al.* (2007), isso pode ser explicado pelo fato de que, com a aplicação de maior quantidade de ureia, todo o N é inicialmente convertido a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo (Luchese *et al.*, 2001), tendo as plantas maior disponibilidade do nutriente nessa forma. Assim como no presente trabalho, em que o tratamento M1 apresentou maior concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em 2017, diferindo, do tratamento que não recebeu N na forma de ureia, em cobertura (M7).

Blackmer & Schepers (1995) mencionam que a vantagem do uso do clorofilômetro para medição do teor relativo de clorofila e avaliação do estado de N, é devido à baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N pelas plantas, sob a forma de nitrato.

Como confirmado por Fontes (2001), isto é favorecido pela forma com que este nutriente se acumula na folha, já que, quando o N é absorvido em excesso, acumula-se como

nitrato, no vacúolo. Nesta forma, o N não se associa à molécula de clorofila e, portanto, não pode ser quantificado pelo medidor de clorofila (Dwyer *et al.*, 1995).

Dentre os macronutrientes, o enxofre, assim como o nitrogênio, constitui o primeiro grupo de elementos essenciais e são assimilados pelas plantas via reações bioquímicas envolvendo oxidação e redução, formando ligações covalentes com carbono e criando compostos orgânicos (p. ex., aminoácidos, ácidos nucleicos e proteínas) (TAIZ; ZEIGER, 2017). No entanto, o teor desse nutriente nas folhas do feijoeiro, independente da dose de N ou inoculação com bactérias diazotróficas, não variou entre os tratamentos. Os macronutrientes Ca e Mg, também não foram influenciados pela inoculação e manejos de N.

Essas concentrações de macronutrientes são pouco influenciadas pelas adubações com N, como observado por Nascente *et al.* (2017), que independentemente da época de aplicação, o N mineral não proporcionou incrementos nos teores de N, P e K nas folhas e grãos de genótipos superprecoce do feijão-comum.

**Tabela 5.** Concentração de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e na parte aérea do feijoeiro de inverno, em função dos manejos de adubação nitrogenada com clorofilômetro portátil e inoculação com *Rhizobium tropici* nas sementes, MS, Brasil - 2020.

| Tratamentos                                        | Ca<br>g kg <sup>-1</sup> |       |       | Mg<br>g kg <sup>-1</sup> |       |       | S<br>g kg <sup>-1</sup> |       |       |
|----------------------------------------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
|                                                    | 2016                     | 2017  | 2018  | 2016                     | 2017  | 2018  | 2016                    | 2017  | 2018  |
| <b>Inoculação com <i>Rhizobium tropici</i> (I)</b> |                          |       |       |                          |       |       |                         |       |       |
| <b>Sem</b>                                         | 15,4                     | 18,7  | 10,5  | 4,9                      | 5,3   | 3,5   | 3,5                     | 5,1   | 3,3   |
| <b>Com</b>                                         | 15,8                     | 18,0  | 10,4  | 5,4                      | 5,3   | 3,5   | 3,7                     | 5,0   | 3,3   |
| <b>Manejo do N (N)</b>                             |                          |       |       |                          |       |       |                         |       |       |
| <b>M1</b>                                          | 19,7                     | 19,7  | 12,2  | 7,0                      | 5,7   | 4,0   | 3,7                     | 5,6   | 3,0   |
| <b>M2</b>                                          | 16,0                     | 19,1  | 10,9  | 5,3                      | 5,4   | 3,7   | 3,4                     | 5,2   | 3,2   |
| <b>M3</b>                                          | 14,3                     | 19,0  | 10,8  | 4,9                      | 5,4   | 3,4   | 3,6                     | 4,9   | 3,2   |
| <b>M4</b>                                          | 17,1                     | 18,9  | 10,1  | 4,8                      | 5,3   | 3,5   | 3,7                     | 5,2   | 3,4   |
| <b>M5</b>                                          | 14,4                     | 16,9  | 9,2   | 4,7                      | 5,1   | 3,3   | 3,7                     | 4,8   | 3,7   |
| <b>M6</b>                                          | 14,2                     | 16,2  | 9,7   | 4,9                      | 4,9   | 3,4   | 3,5                     | 5,1   | 3,5   |
| <b>M7</b>                                          | 13,4                     | 17,9  | 9,9   | 4,6                      | 5,4   | 3,4   | 3,4                     | 4,7   | 3,0   |
| <b>Teste F</b>                                     |                          |       |       |                          |       |       |                         |       |       |
| <b>I</b>                                           | 0,14                     | 0,37  | 0,07  | 0,21                     | 0,31  | 0,00  | 0,60                    | 0,07  | 0,20  |
| <b>N</b>                                           | 2,02                     | 0,74  | 2,39  | 0,61                     | 3,74  | 2,08  | 0,10                    | 0,40  | 1,38  |
| <b>I x N</b>                                       | 0,35                     | 0,33  | 0,51  | 0,05                     | 7,78  | 0,20  | 0,41                    | 0,44  | 1,35  |
| <b>CV<sub>I</sub></b>                              | 24,34                    | 20,83 | 15,20 | 42,69                    | 5,85  | 10,83 | 26,46                   | 23,59 | 15,66 |
| <b>CV<sub>N</sub></b>                              | 13,86                    | 11,18 | 10,76 | 11,57                    | 10,67 | 7,01  | 14,68                   | 4,70  | 17,61 |
| <b>CV<sub>IxN</sub></b>                            | 16,65                    | 15,30 | 11,32 | 13,70                    | 14,16 | 8,71  | 7,57                    | 9,02  | 22,71 |
| <b>Médias</b>                                      | 15,5                     | 18,3  | 10,4  | 5,2                      | 5,3   | 3,5   | 3,6                     | 5,0   | 3,30  |

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a nível de 5 % de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). CV: coeficiente de variação. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro

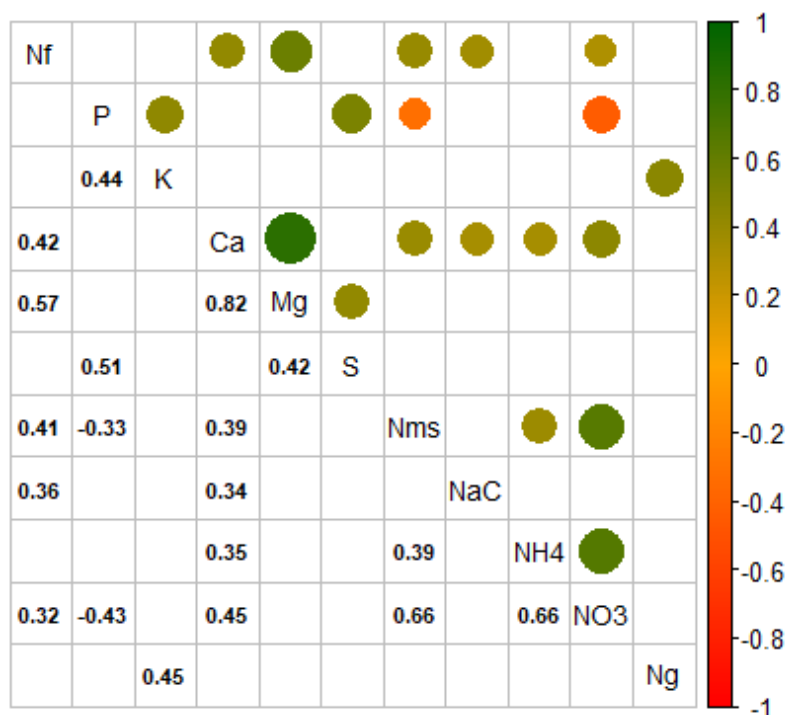
indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

Através das correlações simples nota-se alta correlação positiva entre os macronutrientes Ca e Mg, nos três anos de cultivo ( $r = 0,82^{**}$ ;  $r = 0,80^{**}$ ;  $r = 0,75^{**}$ , respectivamente) (Figura 1,2 e 3).

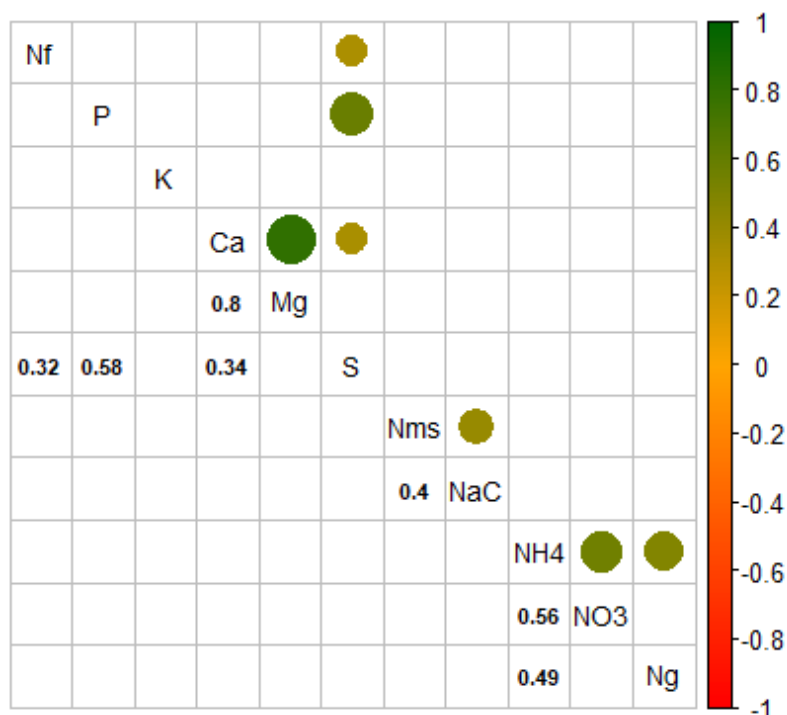
As concentrações de nitrato e amônio também apresentam tendência a se correlacionarem, verificando correlação positiva entre eles nos três anos ( $r = 0,66^{**}$ ,  $r = 0,56^{**}$ ,  $r = 0,63^{**}$ , respectivamente) (Figura 1,2 e 3).

A concentração de N foliar correlacionou-se positivamente com Ca, Mg, S, N na parte aérea, N acumulado e nitrato, em 2016 (Figura 1). E em 2017, houve correlação apenas entre N foliar e S.

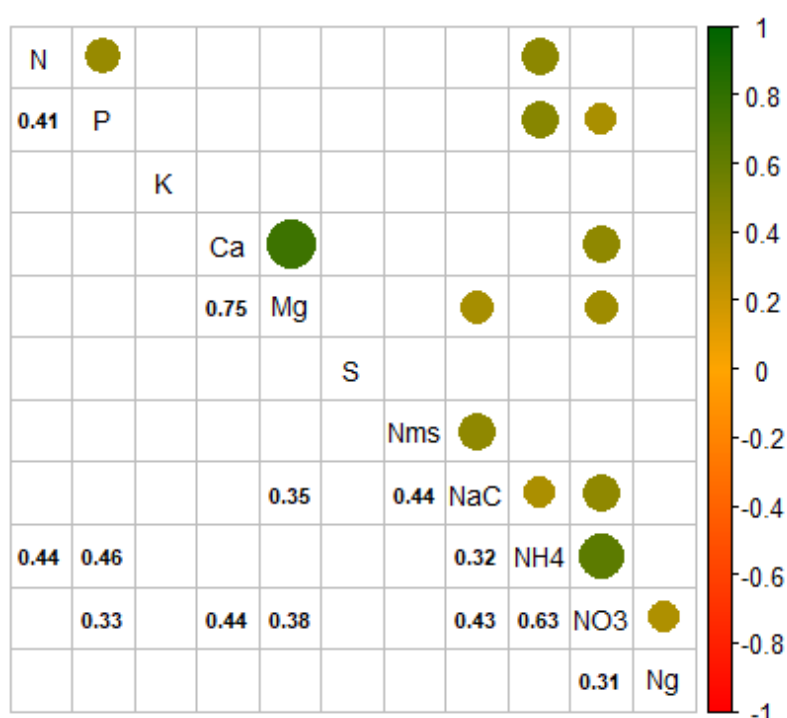
No terceiro ano (2018) houve correlação entre N e P ( $r = 0,41^{*}$ ) e  $\text{NH}_4^{+}$ . Moraes *et al.* (2013) Também encontraram correlação positiva ( $p < 0,01$ ) entre os macronutrientes N e P com o índice de clorofila nas folhas de feijão-caupi e, concluíram, que o clorofilômetro apresenta potencial para auxiliar no manejo nutricional dessa cultura. (Figura 3).



**Figura 1.** Coeficientes de correlação de Person (r), entre as concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S), N na massa seca da parte aérea (Nms), N acumulado (Nac), amônio (NH<sub>4</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub>), e proteína bruta nos grãos (Ng) em 2016. Selvíria, MS, Brasil - 2016.



**Figura 2.** Coeficientes de correlação de Person (r), entre as concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S), N na massa seca da parte aérea (Nms), N acumulado (Nac), amônio (NH<sub>4</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub>), e proteína bruta nos grãos (Ng) em 2017. Selvíria, MS, Brasil - 2017.



**Figura 3.** Coeficientes de correlação de Person (r), entre as concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S), N na massa seca da parte aérea (Nms), N acumulado (Nac), amônio (NH<sub>4</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub>), e proteína bruta nos grãos (Ng) em 2018. Selvíria, MS, Brasil - 2018.

Avaliando o índice de clorofila e N foliar, em função das épocas de monitoramento (15, 22, 29, 34 e 45 DAE), nota-se que o ICF apresentou tendência a aumentar ao longo do tempo e

desenvolvimento da cultura, todavia, a concentração de N foliar aumentou até aproximadamente 34 DAE e, a partir daí, tende a diminuir. Em concordância, Sant’Anna *et al.* (2010) verificaram que os valores médios de ICF se correlacionaram, linear e positivamente, com a idade das plantas, apresentando maiores valores nas maiores doses de N aplicadas em cobertura no feijoeiro de inverno, enquanto, a concentração de N foliar correlacionou-se, linear e negativamente, com a idade das plantas, também apresentando maiores valores nas maiores doses de N.

Maia *et al.* (2012) observaram que o ICF avaliado pelo clorofilômetro é crescente com o tempo, e se estabiliza a partir do florescimento dos cultivares, o que permite inferir que o uso do clorofilômetro como indicador da necessidade da aplicação de N em cobertura a partir dessa fase é menos eficiente (SILVEIRA *et al.*, 2003; BARBOSA FILHO *et al.*, 2008 e 2009)

Além disso, esse aumento no ICF e N foi observado mesmo nos tratamentos sem adubação nitrogenada de cobertura, devido à uniformização da área que se apresenta em SPD consolidado há mais de 20 anos. Corroborando com os resultados, Filla *et al.* (2020), em Latossolo Vermelho eutroférico, observaram o mesmo comportamento com aumento de ICF em tratamentos com ausência de N em cobertura, e relacionam com a mineralização dos resíduos vegetais provenientes da cultura antecessora (milheto) e pela FBN promovida por bactérias fixadoras de nitrogênio presentes naturalmente no solo, devido a área experimental ter histórico de cultivo com feijoeiro-comum.

Filla *et al.* (2020) também verificaram que os valores do ICF para cada manejo de N foram aumentando ao longo dos períodos de avaliação, atingindo seu máximo em 43 DAE, corroborando com o presente experimento (aos 41 DAE) coincidente com o período de florescimento da cultura.

**Tabela 6.** Comparação do índice de clorofila foliar (ICF) e concentração de N foliar no feijoeiro de inverno nas diferentes épocas de avaliação, em função dos manejos de adubação nitrogenada com clorofilômetro portátil e inoculação com *Rhizobium tropici* nas sementes, no ano de 2016. Selvíria, MS, Brasil - 2016.

| Trat                                               | ICF       |           |           |           |           | NF        |           |           |           |           |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                    | 15<br>DAE | 22<br>DAE | 29<br>DAE | 34<br>DAE | 41<br>DAE | 15<br>DAE | 22<br>DAE | 29<br>DAE | 34<br>DAE | 41<br>DAE |
| <b>Inoculação com <i>Rhizobium tropici</i> (I)</b> |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Sem</b>                                         | 37,1      | 35,6      | 36,8      | 40,2      | 30,1      | 38,5      | 33,3      | 41,6      | 31,7      | 31,4      |
| <b>Com</b>                                         | 37,0      | 36,0      | 35,7      | 40,7      | 39,3      | 38,4      | 35,1      | 43,1      | 31,8      | 29,8      |
| <b>Manejo do N (N)</b>                             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>M1</b>                                          | 39,6      | 38,4      | 40,0      | 41,6      | 39,6      | 40,3      | 39,5      | 46,4      | 35,5      | 35,0      |
| <b>M2</b>                                          | 38,5      | 37,3      | 38,2      | 39,8      | 39,2      | 38,5      | 36,18     | 44,6      | 31,8      | 31,1      |
| <b>M3</b>                                          | 36,4      | 34,9      | 35,2      | 40,5      | 39,1      | 38,5      | 31,6      | 41,4      | 30,3      | 28,7      |
| <b>M4</b>                                          | 36,3      | 35,1      | 35,6      | 41,1      | 38,8      | 36,6      | 32,8      | 40,9      | 31,1      | 28,3      |

|                         |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |
|-------------------------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| <b>M5</b>               | 36,1 | 35,2 | 34,7  | 41,2 | 39,1 | 38,4 | 31,6  | 41,4 | 30,6 | 29,5 |
| <b>M6</b>               | 36,9 | 34,7 | 35,3  | 41,0 | 37,9 | 37,8 | 33,1  | 40,0 | 30,8 | 30,1 |
| <b>M7</b>               | 36,0 | 34,8 | 34,8  | 39,0 | 39,0 | 37,1 | 34,8  | 39,9 | 32,6 | 31,3 |
| <b>Teste F</b>          |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |
| <b>I</b>                | 0,23 | 0,41 | 0,80  | 0,28 | 3,06 | 0,08 | 4,73  | 2,95 | 0,07 | 2,95 |
| <b>N</b>                | 7,35 | 2,94 | 1,49  | 1,50 | 0,46 | 6,05 | 12,65 | 3,37 | 3,84 | 3,37 |
| <b>I x N</b>            | 0,76 | 0,06 | 0,07  | 0,07 | 0,33 | 0,97 | 0,59  | 1,15 | 0,39 | 1,15 |
| <b>CV<sub>I</sub></b>   | 3,92 | 6,73 | 13,00 | 6,90 | 6,86 | 4,83 | 5,01  | 9,87 | 7,40 | 9,87 |
| <b>CV<sub>N</sub></b>   | 3,28 | 2,96 | 3,05  | 1,86 | 4,23 | 4,77 | 3,57  | 8,63 | 6,21 | 8,63 |
| <b>CV<sub>IxN</sub></b> | 2,60 | 2,95 | 3,62  | 2,38 | 3,63 | 6,32 | 4,11  | 4,79 | 6,29 | 4,79 |
| <b>Médias</b>           | 37,1 | 35,8 | 36,3  | 40,5 | 38,7 | 38,5 | 34,2  | 42,4 | 31,7 | 30,5 |

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a nível de 5 % de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). CV: coeficiente de variação. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

Em 2017, a leitura do ICF e concentração de N foliar aos 29 DAE diferiram estatisticamente para os manejos de adubação nitrogenada, onde o tratamento M1 apresentou maiores concentrações de N devido às maiores doses do nutriente mineral fornecidas (40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>). Logo, como as médias das leituras do ICF dos tratamentos M3, M4, M5 e M6 em relação à média do tratamento referência indicaram o ISN < 90%, esses tratamentos foram adubados com 20, 30, 20 e 30 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabela 6.** Comparação do índice de clorofila foliar (ICF) e concentração de N foliar no feijoeiro de inverno nas diferentes épocas de avaliação, em função dos manejos de adubação nitrogenada com clorofilômetro portátil e inoculação com *Rhizobium tropici* nas sementes, no ano de 2017. Selvíria, MS, Brasil - 2017.

| Trat                                               | ICF    |        |        |        |        | NF     |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                                    | 15 DAE | 22 DAE | 29 DAE | 34 DAE | 41 DAE | 15 DAE | 22 DAE | 29 DAE | 34 DAE | 41 DAE |
| <b>Inoculação com <i>Rhizobium tropici</i> (I)</b> |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <b>Sem</b>                                         | 38,4   | 38,6   | 40,6   | 41,0   | 45,3   | 41,7   | 41,7   | 44,0   | 43,7   | 37,4   |
| <b>Com</b>                                         | 38,5   | 38,5   | 40,6   | 40,6   | 45,3   | 43,1   | 42,1   | 45,5   | 44,2   | 36,5   |
| <b>Manejo do N (N)</b>                             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <b>M1</b>                                          | 38,6   | 39,7   | 42,5a  | 42,4   | 45,9   | 48,4   | 45,5   | 52,1a  | 44,0   | 37,6   |
| <b>M2</b>                                          | 38,3   | 38,5   | 40,8ab | 39,4   | 43,4   | 44,6   | 40,9   | 49,4ab | 42,2   | 35,8   |
| <b>M3</b>                                          | 39,0   | 39,2   | 40,5ab | 41,5   | 45,7   | 41,4   | 42,3   | 43,1bc | 44,7   | 37,5   |
| <b>M4</b>                                          | 38,5   | 37,8   | 39,7b  | 40,6   | 44,8   | 40,9   | 40,9   | 43,1bc | 46,6   | 37,3   |
| <b>M5</b>                                          | 38,0   | 38,2   | 40,1b  | 40,8   | 44,9   | 41,4   | 41,4   | 41,8bc | 43,3   | 38,2   |
| <b>M6</b>                                          | 38,3   | 38,4   | 40,5ab | 40,3   | 45,5   | 40,0   | 41,5   | 41,8bc | 43,1   | 38,2   |
| <b>M7</b>                                          | 37,8   | 38,1   | 39,9b  | 40,7   | 45,7   | 40,0   | 41,1   | 40,4c  | 43,6   | 34,0   |
| <b>Teste F</b>                                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <b>I</b>                                           | 0,48   | 0,10   | 0,04   | 1,00   | 0,01   | 4,73   | 0,12   | 5,05   | 0,06   | 1,18   |
| <b>N</b>                                           | 4,85   | 0,71   | 11,6*  | 2,27   | 2,95   | 12,65  | 0,95   | 61,30* | 0,26   | 2,02   |

|                         |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| <b>I x N</b>            | 3,04 | 0,38 | 0,72 | 0,54 | 0,29 | 0,60 | 0,26 | 1,24 | 0,21  | 0,13  |
| <b>CV<sub>I</sub></b>   | 1,32 | 5,72 | 1,94 | 4,39 | 4,91 | 5,01 | 9,79 | 3,63 | 15,18 | 6,99  |
| <b>CV<sub>N</sub></b>   | 3,71 | 4,66 | 3,65 | 3,58 | 3,28 | 3,57 | 5,87 | 5,56 | 5,08  | 11,79 |
| <b>CV<sub>IxN</sub></b> | 3,41 | 3,47 | 2,19 | 3,13 | 3,54 | 4,11 | 8,82 | 5,91 | 6,79  | 8,12  |
| <b>Médias</b>           | 38,5 | 38,6 | 40,6 | 40,8 | 45,3 | 42,4 | 41,9 | 44,7 | 43,9  | 37,0  |

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a nível de 5 % de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). CV: coeficiente de variação. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

**Tabela 6.** Comparação do índice de clorofila foliar (ICF) e concentração de N foliar no feijoeiro de inverno nas diferentes épocas de avaliação, em função dos manejos de adubação nitrogenada com clorofilômetro portátil e inoculação com *Rhizobium tropici* nas sementes, no ano de 2018. Selvíria, MS, Brasil - 2018.

| Trat                                               | ICF       |           |           |           |           | NF        |           |           |           |           |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                    | 15<br>DAE | 22<br>DAE | 29<br>DAE | 34<br>DAE | 41<br>DAE | 15<br>DAE | 22<br>DAE | 29<br>DAE | 34<br>DAE | 41<br>DAE |
| <b>Inoculação com <i>Rhizobium tropici</i> (I)</b> |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Sem</b>                                         | 35,9      | 39,0      | 38,0      | 38,6      | 40,7      | 31,2      | 31,5      | 31,3      | 32,8      | 27,4      |
| <b>Com</b>                                         | 36,6      | 38,8      | 38,3      | 38,7      | 40,8      | 32,3      | 32,5      | 31,6      | 33,1      | 28,0      |
| <b>Manejo do N (N)</b>                             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>M1</b>                                          | 36,8      | 39,5      | 39,1      | 41,3a     | 42,3      | 36,3      | 39,1      | 34,1      | 33,0      | 28,2      |
| <b>M2</b>                                          | 35,3      | 39,2      | 39,4      | 39,0ab    | 41,0      | 33,4      | 36,1      | 30,7      | 31,7      | 26,9      |
| <b>M3</b>                                          | 36,8      | 38,8      | 38,1      | 38,3b     | 40,6      | 31,1      | 31,0      | 31,7      | 33,5      | 28,1      |
| <b>M4</b>                                          | 36,5      | 38,3      | 38,0      | 38,0b     | 39,5      | 30,6      | 29,1      | 30,7      | 34,9      | 28,0      |
| <b>M5</b>                                          | 36,0      | 38,6      | 37,8      | 38,1b     | 40,3      | 31,1      | 28,8      | 31,1      | 32,5      | 28,5      |
| <b>M6</b>                                          | 36,2      | 39,0      | 37,2      | 37,8b     | 40,6      | 30,0      | 29,0      | 31,1      | 32,3      | 28,6      |
| <b>M7</b>                                          | 35,8      | 38,7      | 37,5      | 37,8b     | 40,0      | 29,9      | 31,0      | 30,8      | 32,7      | 25,5      |
| <b>Teste F</b>                                     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>I</b>                                           | 0,84      | 0,23      | 0,20      | 0,23      | 0,71      | 3,35      | 0,65      | 0,14      | 0,06      | 1,16      |
| <b>N</b>                                           | 0,33      | 0,66      | 1,29      | 13,00*    | 4,74      | 8,94      | 5,77      | 1,06      | 0,29      | 1,98      |
| <b>I x N</b>                                       | 0,33      | 0,44      | 0,59      | 0,47      | 2,21      | 0,42      | 0,20      | 0,28      | 0,24      | 0,13      |
| <b>CV<sub>I</sub></b>                              | 7,59      | 3,70      | 5,20      | 2,52      | 1,26      | 6,89      | 14,70     | 10,74     | 16,58     | 8,15      |
| <b>CV<sub>N</sub></b>                              | 2,65      | 2,15      | 3,89      | 2,27      | 3,04      | 7,89      | 12,84     | 7,37      | 6,27      | 13,40     |
| <b>CV<sub>IxN</sub></b>                            | 3,05      | 2,89      | 1,87      | 2,13      | 2,05      | 4,72      | 6,16      | 9,79      | 7,87      | 8,89      |
| <b>Médias</b>                                      | 36,2      | 38,9      | 38,2      | 38,6      | 40,8      | 31,8      | 32,0      | 31,4      | 33,0      | 27,7      |

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a nível de 5 % de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). CV: coeficiente de variação. M1: 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>; M2: 20 + 40 + 40; M3: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M4: 20 + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura).

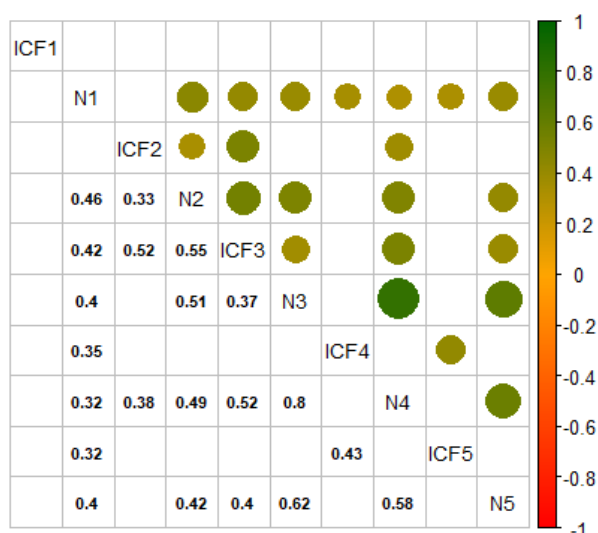
Para os coeficientes de correlação entre o ICF e N foliar, nas diferentes épocas de avaliação: aos 15 ( $r=0,55^{**}$ ), 22 ( $r=0,58^{**}$ ), 29 ( $r=0,56^{**}$ ), 34 ( $r=0,46^{**}$ ) e 41 ( $r=0,20^{ns}$ ) DAE, observa-se na média dos anos correlação positiva entre eles em cada época, exceto para a

avaliação aos 41 DAE. Assim como visto por Maia *et al.* (2017), os maiores índices de correlação entre o IRC e o teor de N foliar foram observados na folha mais velha na fase inicial de desenvolvimento do feijoeiro, ou seja, na segunda folha completamente expandida a partir do ápice e, nas amostragens realizadas aos 28 e 35 DAE.

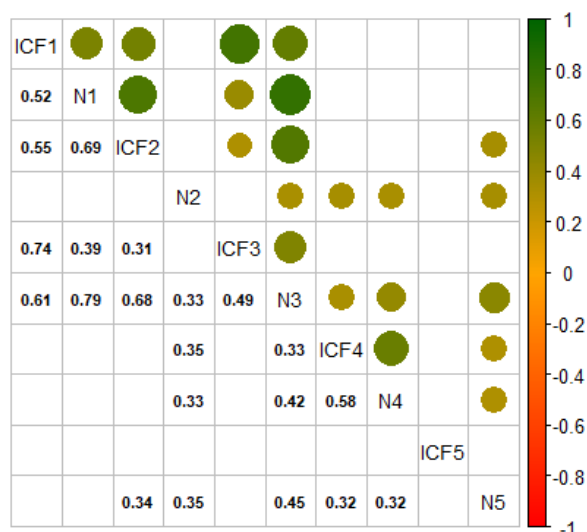
Silveira *et al.* (2003); Didonet *et al.* (2005), já afirmaram que há correlação alta entre a leitura de clorofila e a concentração de N nas folhas do feijoeiro.

Barbosa Filho *et al.* (2005) verificaram maior eficiência no manejo da adubação nitrogenada, quando se utilizou o clorofilômetro como indicador da necessidade de aplicação de N em cobertura, do que a aplicação baseada em épocas pré-fixadas para a adubação.

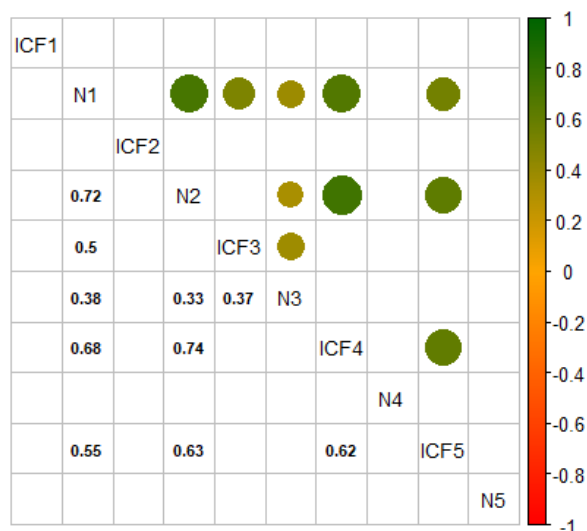
E, por conseguinte, Sant'Anna *et al.* (2010) concluíram que as leituras efetuadas com clorofilômetro estimaram adequadamente o ICF e podem substituir a determinação da concentração de N foliar, para diagnóstico do nível deste nutriente no feijoeiro, além de correlacionar positivamente com a produtividade de grãos.



**Figura 4.** Coeficientes de correlação de Person (r), entre as épocas de leituras do índice de clorofila (ICF) e nitrogênio foliar (NF), em 2016. Selvíria, MS, Brasil - 2016.



**Figura 5.** Coeficientes de correlação de Person (r), entre as épocas de leituras do índice de clorofila (ICF) e nitrogênio foliar (NF), em 2017. Selvíria, MS, Brasil - 2017.



**Figura 6.** Coeficientes de correlação de Person (r), entre as épocas de leituras do índice de clorofila (ICF) e nitrogênio foliar (NF), em 2018. Selvíria, MS, Brasil - 2018.

### 3.4 CONCLUSÕES

As leituras do índice de clorofila foliar apresentam correlações positivas com a concentração de nitrogênio foliar, dos 15 aos 34 DAE, o que torna o monitoramento com clorofilômetro eficiente para estimar as necessidades de N da cultura do feijão, antes do florescimento.

O aumento nas doses de N aplicado em cobertura promove acréscimo nas concentrações de N na massa seca da parte aérea e nos grãos do feijoeiro em função dos manejos com adubação nitrogenada.

A coinoculação de sementes com *Rhizobium tropici* e a aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* não interferem nos atributos nutricionais avaliados, porém a inoculação com *Rhizobium tropici* incrementou a concentração de N foliar e na parte aérea do feijão de inverno.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, C. B.; PINTO, C. C.; FLÔRES, J. A.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B.; FORNASIERI FILHO, D. Produtividade e qualidade do feijoeiro cultivado sobre palhadas de gramíneas e adubado com nitrogênio em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, p. 1602-1609, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900060>. Acesso em: 05 abr. 2021.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; CANTARELLA, H.; Feijão. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 194-195.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1843-1848, 2008.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 425-431, 2009.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 69-76, 2005.
- BETTIOL, J. V. T.; FILLA, V. A.; LEAL, F. T.; COELHO, A. P.; MEIRELLES, F. C.; LEMOS, L. B.; BOSSOLANI, J. W. Sustainable production of common beans: inoculation, co-inoculation and mineral fertilization in early-cycle cultivars, **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 44, n. 1, p. 16-28, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1822403>. Acesso em: 12 mar. 2021.
- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, n. 1, p. 56-60, 1995.
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1545-1552, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600031>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- DWYER, L. M.; ANDERSON, A. M.; MA, B. L.; STEWART, D. W.; TOLLENAR, M.; GREGORICH, E. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, n. 75, p. 179-182, 1995.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 88, p. 97-185, 2005. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6). Acesso em: 05 dez. 2020.

FAGERIA N. K.; FERREIRA, E. P. B.; MELO, L. C.; KNUPP, A. M. Genotypic Differences in dry bean yield and yield components as influenced by nitrogen fertilization and rhizobia. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova York, v. 45, n. 12, p. 1583-1604, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.875204>. Acesso em: 20 dez. 2020.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Yield, agronomic efficiency, technological and nutritional characteristics of the common bean with nitrogen fertilization in no-tillage and conventional tillage. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 165-172, 2010.

FILLA, V. A.; COELHO, A. P.; LEAL, F. T.; BETTIOL, J. V. T.; LEMOS, L. B. Portable chlorophyll meter in monitoring and management of nitrogen in common bean cultivars. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, Cuyo, v. 52, n. 2, p. 64-77, 2020.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 122 p.

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

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Coinoculação de sementes de soja com *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum brasilense*: uma nova ferramenta biotecnológica para melhorar o rendimento e a sustentabilidade. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 6, p. 811-817, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.66087>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (coord.). **Cultura do feijoeiro no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p. 23-56.

LUCHESI, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001. 182 p.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. Índice de suficiência de nitrogênio fundamenta as estimativas das necessidades de fertilização com nitrogênio do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 183-192, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100019>. Acesso em: 20 dez. 2020.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; BIAZOTTO, F. O.; ALMEIDA, A. Q. Estimativa da necessidade de nitrogênio em cobertura no feijoeiro IAC Alvorada com clorofilômetro portátil **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2229-2238, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2229>. Acesso em: 05 abr. 2021.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; LIEBE, S. M.; ALMEIDA, A. Q. Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, p. 512-520, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000700005>. Acesso em: 29 dez. 2020.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Elsevier, 2012. 643 p.

MORAIS, R. R.; FONTES, J. R. A.; GONÇALVES, J. R. P. **Estimativa dos teores de nutrientes foliares em feijão-caupi utilizando clorofilômetro**. Manaus: Embrapa, 2013. 8 p. Circular técnica 40. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/965148/estimativa-dos-teores-de-nutrientes-foliares-em-feijao-caupi-utilizando-clorofilometro>. Acesso em: 05 abr. 2021.

NASCENTE, A. S.; CARVALHO, M. C. S.; MELO, L. C.; ROSA, P. H. Nitrogen management effects on soil mineral nitrogen, plant nutrition and yield of super early cycle common bean genotypes. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 39, n. 3, p. 369-378, 2017.

PEREZ, A. A. G.; SORATTO, R. P.; MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. F. C. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1276-1287, 2013. DOI: 10.1590 / S0100-06832013000500017. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832013000500017](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000500017). Acesso em: 05 abr. 2021.

PESSOA, A. C. S.; PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; CASSINI, S. T. A. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 01, p. 75-84, 2000.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. 247-253, 2005.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019. URL <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 dez. 2020.

RAIJ, B.van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 2001.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2. ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. adubação nitrogenada na produtividade, leitura spad e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, 2010.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. C. F.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Inoculantes microbianos: revisando o passado, discutindo o presente e prevendo um futuro marcante para o uso de bactérias benéficas na agricultura. **AMB Expr**, Münster, v. 9, p. 205, 2019. DOI: 10.1186/s13568-019-0932-0. Disponível em: <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-019-0932-0>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SATURNO, D. F.; CEREZINI, P.; SILVA, P. M.; OLIVEIRA, A. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Mineral nitrogen impairs the biological nitrogen fixation in soybean of determinate and indeterminate growth types. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 40, n. 12, p. 1690-1701, 2017. DOI: 10.1080/01904167.2017.1310890. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2017.1310890?journalCode=lpla20>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. G. B. P.; DIDONET, A. D. Chlorophyll meter to evaluate the necessity of nitrogen in dry beans. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 1083-1087, 2003.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Aplicação tardia de nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 211-218, 2005.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; PILON, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGUI, E. Épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro cultivado após milho solteiro ou consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, p. 1351-1359, 2013a.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SANTOS, L. A.; JOB, A. L. G. Extração e exportação de nutrientes por cultivares de feijão sob diferentes níveis de fertilização: I - macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1027-1042, 2013b. DOI: 10.1590 / S0100-06832013000400020. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832013000400020](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000400020). Acesso em: 05 abr. 2021.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SOUZA, E. F. C.; SOUZA-SCHLICK, G. D. Produtividade e qualidade dos grãos de feijão em função da aplicação de nitrogênio em cobertura e via foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2019-2028, 2011.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

#### **4 ANÁLISE ECONÔMICA DO USO DO CLOROFILÔMETRO E DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS NO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO FEIJÃO DE INVERNO IRRIGADO**

##### **Resumo**

Sistemas de manejos da adubação nitrogenada e bactérias fixadoras de nitrogênio sob condições tecnológicas adequadas inferem na obtenção de altas produtividades do feijoeiro. No entanto, a ausência de estudos com enfoque econômico inviabiliza a conclusão da viabilidade de uso, a qual é uma das prioridades do produtor. Desse modo, objetivou-se avaliar a viabilidade técnica e rentabilidade do manejo da adubação nitrogenada de cobertura no feijão de inverno, em função do uso do clorofilômetro e das bactérias diazotróficas *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*. O estudo foi desenvolvido em área de sistema plantio direto consolidado em Selvíria, MS, Brasil, nas safras de 2016, 2017 e 2018. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, disposto em esquema de faixas, as quais constituíram o feijão sem ou com inoculação de *Rhizobium tropici* nas sementes e os tratamentos distribuídos nas subparcelas pela combinação de 7 manejos da adubação nitrogenada, com quatro repetições. A análise econômica dos tratamentos foi realizada através da estrutura baseada no Custo Operacional Total (COT) de produção, bem como os principais índices de rentabilidade. O menor COT foi obtido na ausência da adubação nitrogenada, pelo monitoramento com o clorofilômetro, possibilitando a economia de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, redução de 10% dos custos, R\$357,20 (ureia + aplicação). O manejo da adubação nitrogenada mediante leituras com clorofilômetro proporciona melhor desempenho técnico e econômico com o feijão de inverno irrigado, sendo

uma tecnologia recomendada, sem a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados em cobertura. Conclui-se que o tratamento com inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium tropici* apresentou produtividade de grãos elevada, não diferindo do tratamento que recebeu a dose máxima de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) e, conseqüentemente, proporcionou maior lucro, haja vista a redução dos custos com adubação nitrogenada em cobertura.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Coinoculação. Fixação biológica de nitrogênio. Custo de produção. Rentabilidade.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é destaque no agronegócio brasileiro, principalmente no âmbito social e econômico, visto sua importância como fonte de proteína na dieta da população, além da quantidade de pequenos produtores envolvidos na cadeia produtiva. A produtividade média brasileira de grãos na safra 2019/20 foi em torno de  $1.100 \text{ kg ha}^{-1}$ , com produção de aproximadamente 3,14 milhões de toneladas, nas três safras de cultivo. O feijão de inverno, também chamado “terceira safra” representa, na média, 20,0% da área e 27,0% da produção nacional do feijoeiro-comum (CONAB, 2020).

Apesar dessa produtividade média ainda ser bastante reduzida, pode-se elevar a produtividade de grãos com o uso adequado de irrigação e insumos agrícolas, pois algumas cultivares produzem até  $4.000 \text{ kg ha}^{-1}$  (FARINELLI; LEMOS, 2010).

Quanto ao consumo de feijão, houve declínio considerado nas duas últimas décadas, porém percebe-se uma tendência de aumento no consumo aparente per capita do feijão-comum, com média atual de aproximadamente  $14 \text{ kg hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Ainda assim, conforme observado por Silva e Wander (2015), os preços recebidos pelos produtores, apesar das oscilações, têm sido compensadores, estimulando os mesmos a se manterem na atividade. Até nos dias atuais, em que a saca do feijão apresenta valores compensatórios.

Para a viabilidade da produção de feijão, ressalta-se a importância do planejamento da cadeia produtiva da cultura, quanto à qualidade das sementes e insumos, aos tratos culturais, às questões climáticas, aos preços de comercialização dos grãos e aos custos de produção.

O nitrogênio (N) destaca-se como o nutriente mais exigido pela cultura, por participar da formação de diversos componentes celulares nos vegetais. Além disso, é o que mais onera

no custo de produção, e principalmente em regiões tropicais, onde ocorrem maiores perdas por volatilização da amônia e lixiviação do nitrato, acarretando em elevado custo ambiental (SABUNDJIAN *et al.*, 2014; LISBOA *et al.*, 2019).

O manejo da adubação nitrogenada adequado, visto ser o N o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura, influencia diretamente na produtividade de grãos. Estudos demonstram que as leituras indiretas de clorofila, obtidas com clorofilômetro portátil, podem indicar a época de maior demanda de N pelas plantas e se há ou não necessidade de sua aplicação em cobertura (MAIA *et al.*, 2012).

Tendo em vista a relevância da disponibilidade de N para o desenvolvimento das plantas, a inoculação de bactérias como *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* também constituem fontes alternativas de suprimento deste nutriente à cultura, levando em consideração as principais limitações e eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) no feijão.

Além dos fatores agronômicos, é de suma importância para o produtor analisar do ponto de vista econômico, o custo de produção e indicadores de rentabilidade para determinar a viabilidade do cultivo do feijão de inverno, afirmando se a tecnologia compensa financeiramente. Nesse cenário, objetivou-se avaliar a viabilidade técnica e rentabilidade do manejo da adubação nitrogenada de cobertura no feijão de inverno, em função do uso do clorofilômetro e das bactérias diazotróficas *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Selvíria, MS, Brasil (20° 22' S e 51° 22' W, 335 m de altitude) na Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP Ilha Solteira. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso (SANTOS *et al.*, 2018), cultivado com safras anuais há mais de 20 anos em sistema plantio direto consolidado, com soja e milho em rotação com plantas de cobertura, como safras anteriores e cultivo de milheto (*Pennisetum glaucum*) antecedendo o de feijão nos três anos de experimento.

Antes da instalação, durante os três anos, foram coletadas amostras de solo da área experimental e realizada a análise química de acordo com metodologia proposta por Raij *et al.* (2001). Os atributos químicos do solo foram, respectivamente, para 2016; 2017; 2018: P-resina = 26; 15; 12 mg dm<sup>-3</sup>; M.O. = 16; 16; 22; pH em CaCl<sub>2</sub> = 5,4; 5,1; 5,2, K = 1,4; 2,0; 1,1, Ca = 23; 21; 24, Mg = 20; 13; 15, H + Al = 22; 31; 28, SB = 44,4; 36; 40,1; CTC = 66,4; 67; 68,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 67, 54, 59%.

O clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo a classificação Köppen. A precipitação pluvial média anual da região é de 1.313 mm, com temperatura máxima anual de 31 °C, mínima anual de 19 °C e média anual de 25 °C (PORTUGAL; PERES; RODRIGUES, 2015).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, disposto em esquema de faixas, foram constituídas pelo feijão sem ou com inoculação de *Rhizobium tropici* e os tratamentos distribuídos nas subparcelas pela combinação de 7 manejos: M1: 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 80 kg ha<sup>-1</sup> aos 10 dia após emergência (DAE) + 80 kg ha<sup>-1</sup> aos 20 DAE (tratamento referência); M2: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 40 kg ha<sup>-1</sup> aos 10 DAE + 40 kg ha<sup>-1</sup> aos 20 DAE (dose recomendada); M3: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN) < 90%; M4: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + *Azospirillum brasilense* foliar + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M5: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M6: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> de N quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90%; M7: testemunha (sem aplicação de N em cobertura)], e de M8 a M14, são os respectivos tratamentos de M1 a M7 inoculados com *Rhizobium tropici* nas sementes.

As parcelas experimentais foram constituídas por uma área de 18,90 m<sup>2</sup> com 7 linhas de feijão espaçadas de 0,45 m entre si, com 6,0 metros de comprimento, considerando-se como bordadura as linhas laterais da parcela e mais 1,0 m em ambas as extremidades de cada linha.

A semeadura mecânica ocorreu nos dias 03/05/2016, 25/05/2017 e 23/04/2018, utilizando-se a cultivar BRS Estilo (grupo comercial carioca com hábito de crescimento indeterminado tipo II), com densidade de 13 sementes m<sup>-1</sup>, resultando em 72 kg ha<sup>-1</sup> sementes. A adubação no sulco de semeadura foi realizada com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, segundo recomendações de Ambrosano *et al.* (1997). A emergência de plantas ocorreu aos seis dias após a semeadura (DAS). A semeadura foi realizada com trator de 125 cv de potência e semeadora adubadora a vácuo para plantio direto de sete linhas (espaçadas em 0,45 m).

As sementes foram tratadas com piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil, (Standak Top<sup>®</sup>) nas doses de 5, 45 e 50 g do ingrediente ativo (i.a.) para cada 100 kg de sementes, respectivamente. Adicionalmente, realizou-se a inoculação de *Rhizobium tropici*, de acordo com os tratamentos, na dose de 200 g ha<sup>-1</sup> do inoculante turfoso, com a estirpe Semia 4080

contendo  $2 \times 10^9$  unidades formadoras de colônias (UFC)  $\text{g}^{-1}$  e, em seguida, realizou-se a semeadura.

Os tratamentos com aplicação de *Azospirillum brasilense* via foliar foram realizados no estágio vegetativo V<sub>4</sub>, quando a 3ª folha trifoliada estava plenamente desdobrada e tem início o processo de ramificação da planta, na dose de 200 mL  $\text{ha}^{-1}$  do inoculante, utilizando-se as estirpes AbV<sub>5</sub> e AbV<sub>6</sub> com  $2 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$ .

O fornecimento de água, quando necessário, foi realizado por sistema fixo de irrigação por aspersão, com lâmina d'água média de 15 mm e intervalo de irrigação de aproximadamente três dias. Portanto, durante todo o ciclo, considerou-se um gasto de 2.200 kWh, e a tarifa de energia extraída da Elektro S/A foi do subgrupo rural (fora de ponta) de R\$0,21  $\text{kWh}^{-1}$ .

O fornecimento de N nas aplicações em cobertura utilizou como fonte ureia (45% N). De acordo com os tratamentos, M1 na dose de 80 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N (178 kg  $\text{ha}^{-1}$  de ureia) e M2 na dose de 40 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N (89 kg  $\text{ha}^{-1}$  de ureia). Nos três anos, a aplicação ocorreu aos 10 DAE, quando as plantas de feijão se encontravam no estágio V<sub>3</sub> (primeira folha trifoliolada totalmente expandida) e as mesmas doses aos 20 DAE (estádio V<sub>4</sub> – terceira folha trifoliolada completamente expandida).

O monitoramento do Índice Relativo de Clorofila (IRC) foi realizado semanalmente a partir dos 14 DAE até a fase de florescimento da cultura, ou seja, aos 15, 22, 29, 34 e 41 DAE, empregando-se o clorofilômetro ótico portátil ClorofiLOG (Falker<sup>®</sup>, modelo CFL 3010). As leituras eram feitas pela manhã (08-11h), amostrando-se cinco plantas por unidade experimental, nas quais realizou-se uma leitura por folíolo de cada folha trifoliolada avaliada como diagnóstica. O ISN de 90% foi definido como mais adequado para a necessidade de N pela cultura e foi considerada como folha diagnose a segunda folha completamente expandida a partir do ápice, na fase inicial do ciclo da cultura, e a terceira folha completamente expandida a partir do ápice, em estádios mais adiantados, estabelecidos de acordo com Maia *et al.* (2012).

Apenas no segundo ano (2017), aos 30 DAE (estádio V<sub>4-5</sub>, quando as plantas estavam com a quinta folha trifoliolada completamente expandida), foi realizada adubação de cobertura para os manejos M3, M4, M5 e M6 que apresentaram ISN abaixo de 90%, determinado no dia anterior (29 DAE). Com as leituras do IRC, o cálculo do ISN foi obtido através da relação das medidas dos valores das leituras do clorofilômetro dos tratamentos (LT) e no tratamento referência M1 (LR) pela equação 1.

$$\text{ISN (\%)} = (\text{LT} / \text{LR}) \times 100 \dots\dots\dots (\text{Eq. 1})$$

O controle de plantas daninhas foi realizado em pós-emergência com os herbicidas fomesafen ( $250 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) e fenoxaprope-p-etílico ( $77 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.). Utilizou-se o inseticida imidacloprido ( $100 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) aos 15 DAE, quando a cultura se encontrava no estágio V<sub>4</sub> (terceira folha trifoliada). Além disso, com o aparecimento de pragas e doenças causadas por fungos, ocorreu a aplicação da mistura deltametrina ( $4 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) + carbendazim ( $250 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) + abamectina ( $0,4 \text{ L ha}^{-1}$  do i.a.) por ocasião do florescimento e aplicação da mistura abamectina ( $0,4 \text{ L ha}^{-1}$  do i.a.) + mancozeb ( $1.125 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.), aos 10 dias após a aplicação anterior. Todos no volume de calda de  $300 \text{ L ha}^{-1}$ , executadas com trator de 75 cv de potência, aplicados com pulverizador de barras de 14,0 m, com pontas do tipo jato plano (“leque”).

O florescimento pleno da cultura, no primeiro ano, ocorreu aos 44 DAE; no segundo ano aos 52 DAE e, no terceiro ano, aos 45 DAE. A colheita do feijão foi realizada manualmente aos 109 DAE (02/08/2016), aos 107 DAE (05/09/2017) e aos 90 DAE (25/07/2018). Após a secagem, as plantas foram submetidas à trilha mecânica e os grãos pesados e os dados transformados em  $\text{kg ha}^{-1}$  (13% base úmida).

A análise econômica foi realizada através da estrutura baseada no Custo Operacional Total (COT) de produção, utilizada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA), segundo Matsunaga *et al.* (1976), que consiste na soma dos gastos: operações, insumos (fertilizantes, sementes, agrotóxicos, etc.), mão de obra, maquinários e irrigação, denominado Custo Operacional Efetivo (COE). Para a constituição do COT, o estudo considerou outras despesas operacionais, representando 5% do COE (Matsunaga *et al.*, 1976). Os juros de custeio foram obtidos considerando-se a taxa de 6% a.a. (taxa de juros utilizada em operações de crédito rural para médios produtores) sobre 50% do COE.

A lucratividade dos tratamentos foi determinada por meio de análises de rentabilidade, de acordo com Martin *et al.* (1998). Para tanto, foram determinadas as seguintes variáveis: Receita Bruta (RB) (em R\$), como o produto entre a quantidade produzida (em sacas de 60 kg) e o preço pago ao produtor; Índice de Lucratividade (IL), entendido como a razão entre LO e RB, em porcentagem, Preço de Equilíbrio (PE), a partir de um determinado custo total de produção, sendo o preço mínimo calculado para cobrir esse custo, considerando a produtividade média obtida; e Produção de Equilíbrio (ProE), dado um determinado custo total de produção, caracterizado como a produção mínima para cobrir esse custo, considerando o preço médio pago ao agricultor.

Os valores de produtividade dos tratamentos foram convertidos em sacas (sc) de 60 kg de grãos, que é a forma tradicional de comercialização, pelos produtores da região. O preço médio atualizado foi de R\$ 278,33 por saca de 60 kg (IEA, 2020), que representa o preço médio

recebido pelos produtores na safra de inverno, em novembro de 2020. Os valores pagos pelos insumos também foram atualizados para os meses de janeiro de 2021.

O custo do N proveniente da ureia foi de R\$2,15 kg<sup>-1</sup>, considerando-se o preço da tonelada da ureia, de R\$2.146,00 (AGRIANUAL, 2021). Para a inoculação com *Rhizobium tropici*, o custo foi de aproximadamente R\$8,00; e com *Azospirillum brasilense*, de aproximadamente R\$23,00 por aplicação, visto que foi utilizada a dose recomendada de 200 g e 200 mL ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a implantação do experimento, os custos médios da cultura do feijão de inverno irrigado, no município de Selvíria (MS), totalizaram R\$4.066,90 ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). Este modelo de estrutura de COT foi utilizado individualmente para todos os tratamentos, entretanto, na referida tabela está representado apenas um dos tratamentos estudados (M2: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 40 kg ha<sup>-1</sup> aos 10 DAE + 40 kg ha<sup>-1</sup> aos 20 DAE), recomendado para a cultura do feijão.

**Tabela 1.** Estimativa do custo operacional e percentagem de cada custo obtido com a cultura do feijão de inverno irrigado por hectare, em função do manejo M2 (com total de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N). Selvíria, MS, safras 2016, 2017 e 2018.

| DESCRIÇÃO                       | Esp. | nº vezes | Qtde   | Valor unitário (R\$) | Total (R\$)     | Percentagem (%) |
|---------------------------------|------|----------|--------|----------------------|-----------------|-----------------|
| <b>A) Operações mecanizadas</b> |      |          |        |                      |                 |                 |
| Semeadura e adubação de base    | HM   | 1        | 0,83   | 413,00               | 342,79          | 8,43            |
| Adubação de cobertura           | HM   | 2        | 0,13   | 87,54                | 22,76           | 0,56            |
| Irrigação                       | kWh  | 1        | 2.200  | 0,21                 | 462,00          | 11,36           |
| Pulverização                    | HM   | 4        | 0,11   | 154,00               | 67,76           | 1,67            |
| Recolhimento/trilha/ensaque     | HM   | 1        | 1      | 180,30               | 180,30          | 4,43            |
| <b>SUBTOTAL A</b>               |      |          |        |                      | <b>1.075,61</b> | <b>26,45</b>    |
| <b>B) Operações manuais</b>     |      |          |        |                      |                 |                 |
| Arranquio feijão                |      | 1        | 8,00   | 73,85                | <b>590,80</b>   | 14,53           |
| <b>SUBTOTAL B</b>               |      |          |        |                      | <b>590,80</b>   | <b>14,53</b>    |
| <b>C) Insumos</b>               |      |          |        |                      |                 |                 |
| Formulado 08-28-16              | kg   | 1        | 250,00 | 2,56                 | 640,00          | 15,74           |
| Ureia semeadura                 | kg   | 1        | 0,00   | 2,15                 | 0,00            | 0,00            |
| Ureia 10DAE                     | kg   | 1        | 89,00  | 2,15                 | 191,35          | 4,71            |
| Ureia 20 DAE                    | kg   | 1        | 89,00  | 2,15                 | 191,35          | 4,71            |
| Semente Feijão BRS Estilo       | sc   | 1        | 72,00  | 6,00                 | 432,00          | 10,62           |
| <i>Rhizobium tropici</i>        | mL   | 1        | 0,00   | 41,67                | 0,00            | 0,00            |
| <i>Azospirillum brasilense</i>  | mL   | 1        | 0,00   | 116,67               | 0,00            | 0,00            |
| Standak Top                     | L    | 1        | 0,20   | 503,00               | 100,60          | 2,47            |
| Glyphosate                      | L    | 1        | 4,00   | 20,65                | 82,58           | 2,03            |
| Podium (Herbicida)              | L    | 1        | 0,75   | 77,90                | 58,43           | 1,44            |

|                                        |    |   |      |                 |        |               |
|----------------------------------------|----|---|------|-----------------|--------|---------------|
| Flex (Herbicida)                       | L  | 1 | 1,00 | 71,98           | 71,98  | 1,77          |
| Premio                                 | L  | 1 | 0,05 | 739,90          | 37,00  | 0,91          |
| Provado                                | L  | 1 | 0,50 | 83,90           | 41,95  | 1,03          |
| Decis                                  | L  | 1 | 0,20 | 80,90           | 16,18  | 0,40          |
| Derosal Plus                           | L  | 1 | 0,30 | 73,78           | 22,13  | 0,54          |
| Abamectina                             | L  | 1 | 0,10 | 118,90          | 11,89  | 0,29          |
| Dithane/Mancozeb                       | kg | 2 | 2,00 | 26,45           | 105,80 | 2,60          |
| Óleo Mineral                           | L  | 4 | 1,00 | 24,00           | 96,00  | 2,36          |
| <b>SUBTOTAL C</b>                      |    |   |      | <b>2.099,23</b> |        | <b>51,62</b>  |
| <b>Custo Operacional Efetivo (COE)</b> |    |   |      | <b>3.765,64</b> |        | 92,59         |
| Outras despesas (5% COE)               |    |   |      | 188,28          |        | 4,63          |
| Juros de Custeio                       |    |   |      | 112,97          |        | 2,78          |
| <b>Custo Operacional Total (COT)</b>   |    |   |      | <b>4.066,90</b> |        | <b>100,00</b> |

Gerlach *et al.* (2013) observaram que a aplicação de uma dose equivalente a 90 kg ha<sup>-1</sup> de N representou 14% do custo operacional total, corroborando com o obtido no presente experimento, em que o tratamento M2 com 80 kg ha<sup>-1</sup> de N equivale a 10% do COT, o que representa o gasto significativo desse insumo e precisa produzir o suficiente para cobrir os custos e ser economicamente viável ao produtor.

Sabundjian *et al.* (2014) verificaram que a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura acarretou maior acréscimo de produtividade de grãos e maior margem de ganho do feijão de inverno irrigado por aspersão em plantio direto. Ainda assim, Binotti *et al.* (2010) verificaram maior receita líquida com uma dose reduzida de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, verificando também que a economia de fertilizantes pode trazer incrementos de produtividades e viabilidade econômica para o cultivo de feijão.

No entanto, trabalhando com a cultura de feijão, cultivar IPR-Tangará, nas safras “da seca”, “de inverno” e “das águas”, Rosa *et al.* (2020) observaram incrementos de produtividade de grãos e o melhor desempenho agrônômico com o uso de 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto que do ponto de vista econômico, a dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N promoveu a maior receita líquida.

A produtividade média considerada para a BRS Estilo, divulgada no portfólio de cultivares de feijão da Embrapa, é de 52 sacas ha<sup>-1</sup> para lavouras comerciais (EMBRAPA, 2017). Verifica-se no presente experimento, que as médias de produtividade foram elevadas nos três anos de cultivo, o equivalente a aproximadamente 49, 70 e 45 sacas ha<sup>-1</sup>, respectivamente em 2016, 2017 e 2018. O destaque da safra de 2017 para maiores produtividades de grãos de feijão pode estar relacionado às melhores condições climáticas, já

que se utilizou a mesma cultivar BRS Estilo e a fertilidade do solo apresentava-se uniforme e semelhante à dos outros dois anos de cultivo.

Silva e Wander (2015), em estudo da viabilidade econômica da cultivar de feijão-comum BRS Estilo, durante quatro anos, nas três safras de cultivo, verificaram que a mesma é economicamente viável, com relação benefício/custo de 2,05, obtido na média do período analisado e, consequentemente, lucratividade de 105% para a safra de inverno.

Também é notável que mesmo nos tratamentos sem aplicação de nitrogênio em cobertura, uma vez que por meio do monitoramento com o clorofilômetro, o ISN apresentava-se maior que 90%, e não receberam adubação nos anos de 2016 e 2018, foi possível obter excelentes médias de produtividade de grãos. Atrelado às informações de Ambrosano *et al.* (1997), pode-se inferir que para expectativa de produtividade entre 2,5 – 3,5 kg ha<sup>-1</sup> e alta classe de resposta ao N a recomendação seria de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura. No entanto, pelo monitoramento com o clorofilômetro não foi necessário a aplicação de N, possibilitando a economia de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, reduzindo 10% do custo R\$357,20 (ureia + aplicação).

No ano de 2017, com as leituras do clorofilômetro o ISN foi menor que 90% apenas aos 32 DAE, aplicando, portanto, 20 ou 30 kg ha<sup>-1</sup>, de acordo com os tratamentos. Para essas produtividades, entre 3,5 – 4,5 kg ha<sup>-1</sup>, com alta classe de resposta recomenda-se 90 kg ha<sup>-1</sup> (AMBROSANO *et al.*, 1997), entretanto permitiu economia de 50 ou 40 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Dentre as possíveis explicações, infere-se que a área experimental permanece sob SPD (sistema de plantio direto) consolidado há mais de vinte anos, com fertilidade do solo adequada e mantém-se em equilíbrio biológico em razão de constantes rotação de culturas e manutenção de palhada sobre o solo. Kluthcouski *et al.* (2006) afirmaram que em áreas sob longo período em sistema plantio direto, o aporte de N é bastante representativo, o que permite obter boas produtividades de grãos na cultura do feijão (em torno de 3 t ha<sup>-1</sup>) com aplicação de pequena dose de N na semeadura.

Outra explicação, segundo Fageria *et al.* (2013) e Leal *et al.* (2019), que ressaltaram a cultivar utilizada BRS Estilo quanto à eficiência de uso e resposta à aplicação de N. Esses autores, comprovaram que as doses de N e cultivares influenciaram o acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro em R<sub>9</sub>, e a cultivar BRS Estilo foi responsiva, mesmo com menores doses de N.

A utilização de ureia como fonte mineral, que fornece 45% de N, apresenta boa relação custo/benefícios e gera maior retorno econômico relativo, assim como foi observado por Silva *et al.* (2020), em comparação com a aplicação de sulfato de amônio. No entanto, os autores

verificaram um retorno econômico relativo com doses elevadas de adubação nitrogenada em cobertura, de 139 kg ha<sup>-1</sup> para incremento na produtividade de grãos do feijoeiro.

Observando-se os índices de rentabilidade (Tabelas 2, 3 e 4) para os anos 2016, 2017 e 2018, respectivamente, é notável que o tratamento com dose máxima de N, utilizado como área de referência para leituras do ISN, apesar de apresentar produtividades elevadas, devido ao aumento do COT com o insumo ureia e aplicação, apresentaram menores índices de lucratividade e, conseqüentemente, produção de equilíbrio maior, em aproximadamente 3 sacas ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 2.** Indicadores de rentabilidade do feijão de inverno irrigado, em função dos manejos de adubação nitrogenada de cobertura com uso do clorofilômetro portátil e inoculação com bactérias, na safra de 2016. Selvíria - MS, safra 2016.

| Trat | N                      | P  | K  | PROD  | PROD                   | COT      | RB        | LO        | IL    | PE                      | ProE                   |
|------|------------------------|----|----|-------|------------------------|----------|-----------|-----------|-------|-------------------------|------------------------|
|      | (kg ha <sup>-1</sup> ) |    |    |       | (sc ha <sup>-1</sup> ) | (R\$)    | (R\$)     | (R\$)     | (%)   | (R\$ sc <sup>-1</sup> ) | (sc ha <sup>-1</sup> ) |
| 1    | 200                    | 28 | 16 | 3.482 | 58,0                   | 4.584,70 | 16.152,42 | 11.567,72 | 71,62 | 79,00                   | 16                     |
| 2    | 100                    | 28 | 16 | 2.923 | 48,7                   | 4.066,90 | 13.559,31 | 9.492,41  | 70,01 | 83,48                   | 15                     |
| 3    | 20                     | 28 | 16 | 2.663 | 44,4                   | 3.654,20 | 12.353,21 | 8.699,01  | 70,42 | 82,33                   | 13                     |
| 4    | 20                     | 28 | 16 | 2.710 | 45,2                   | 3.654,20 | 12.571,24 | 8.917,04  | 70,93 | 80,90                   | 13                     |
| 5    | 20                     | 28 | 16 | 2.921 | 48,7                   | 3.629,00 | 13.550,03 | 9.921,03  | 73,22 | 74,54                   | 13                     |
| 6    | 20                     | 28 | 16 | 3.172 | 52,9                   | 3.629,00 | 14.714,38 | 11.085,38 | 75,34 | 68,64                   | 13                     |
| 7    | 20                     | 28 | 16 | 3.000 | 50,0                   | 3.629,00 | 13.916,50 | 10.287,50 | 73,92 | 72,58                   | 13                     |
| 8    | 200                    | 28 | 16 | 3.106 | 51,8                   | 4.593,70 | 14.408,22 | 9.814,51  | 68,12 | 88,74                   | 17                     |
| 9    | 100                    | 28 | 16 | 2.786 | 46,4                   | 4.075,90 | 12.923,79 | 8.847,89  | 68,46 | 87,78                   | 15                     |
| 10   | 20                     | 28 | 16 | 2.718 | 45,3                   | 3.663,20 | 12.608,35 | 8.945,15  | 70,95 | 80,87                   | 13                     |
| 11   | 20                     | 28 | 16 | 2.923 | 48,7                   | 3.663,20 | 13.559,31 | 9.896,11  | 72,98 | 75,19                   | 13                     |
| 12   | 20                     | 28 | 16 | 2.825 | 47,1                   | 3.638,00 | 13.104,70 | 9.466,71  | 72,24 | 77,27                   | 13                     |
| 13   | 20                     | 28 | 16 | 2.855 | 47,6                   | 3.638,00 | 13.243,87 | 9.605,87  | 72,53 | 76,46                   | 13                     |
| 14   | 20                     | 28 | 16 | 2.850 | 47,5                   | 3.638,00 | 13.220,68 | 9.582,68  | 72,48 | 76,59                   | 13                     |

Produtividade de grãos de feijão (PROD), custo operacional total (COT), receita bruta (RB), lucratividade operacional (LO), índice de lucratividade (IL), preço econômico (PE) e produtividade econômica (ProE).

**Tabela 3.** Indicadores de rentabilidade do feijão de inverno irrigado, em função dos manejos de adubação nitrogenada de cobertura com uso do clorofilômetro portátil e inoculação com bactérias, na safra de 2017. Selvíria - MS, safra 2017.

| Trat | N                      | P  | K  | Prod  | Prod                   | COT      | RB        | LO        | IL    | PE                      | ProE                   |
|------|------------------------|----|----|-------|------------------------|----------|-----------|-----------|-------|-------------------------|------------------------|
|      | (Kg ha <sup>-1</sup> ) |    |    |       | (sc ha <sup>-1</sup> ) | (R\$)    | (R\$)     | (R\$)     | (%)   | (R\$ sc <sup>-1</sup> ) | (sc ha <sup>-1</sup> ) |
| 1    | 200                    | 28 | 16 | 4.484 | 74,7                   | 4.584,70 | 20.800,53 | 16.215,83 | 77,96 | 61,35                   | 16                     |
| 2    | 100                    | 28 | 16 | 4.389 | 73,2                   | 4.066,90 | 20.359,84 | 16.292,94 | 80,02 | 55,60                   | 15                     |
| 3    | 40                     | 28 | 16 | 3.915 | 65,3                   | 3.770,98 | 18.161,03 | 14.390,05 | 79,24 | 57,79                   | 14                     |
| 4    | 50                     | 28 | 16 | 4.227 | 70,5                   | 3.822,06 | 19.608,35 | 15.786,28 | 80,51 | 54,25                   | 14                     |

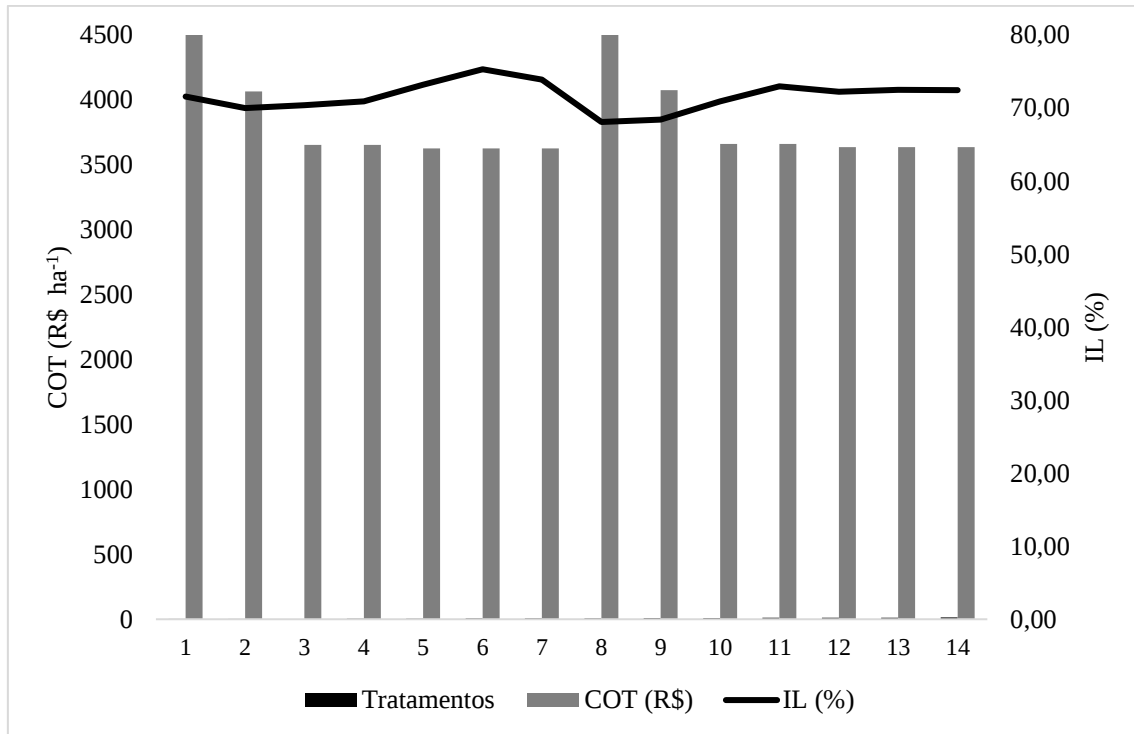
|    |     |    |    |       |      |          |           |           |       |       |    |
|----|-----|----|----|-------|------|----------|-----------|-----------|-------|-------|----|
| 5  | 40  | 28 | 16 | 3.987 | 66,5 | 3.745,78 | 18.495,03 | 14.749,25 | 79,75 | 56,37 | 13 |
| 6  | 50  | 28 | 16 | 4.088 | 68,1 | 3.796,86 | 18.963,55 | 15.166,69 | 79,98 | 55,73 | 14 |
| 7  | 20  | 28 | 16 | 4.209 | 70,2 | 3.629,00 | 19.524,85 | 15.895,85 | 81,41 | 51,73 | 13 |
| 8  | 200 | 28 | 16 | 4.655 | 77,6 | 4.593,70 | 21.593,77 | 17.000,07 | 78,73 | 59,21 | 17 |
| 9  | 100 | 28 | 16 | 4.192 | 69,9 | 4.075,90 | 19.445,99 | 15.370,09 | 79,04 | 58,34 | 15 |
| 10 | 40  | 28 | 16 | 4.154 | 69,2 | 3.779,98 | 19.269,71 | 15.489,73 | 80,38 | 54,60 | 14 |
| 11 | 50  | 28 | 16 | 4.166 | 69,4 | 3.831,06 | 19.325,38 | 15.494,32 | 80,18 | 55,18 | 14 |
| 12 | 40  | 28 | 16 | 4.278 | 71,3 | 3.754,78 | 19.844,93 | 16.090,15 | 81,08 | 52,66 | 13 |
| 13 | 50  | 28 | 16 | 4.592 | 76,5 | 3.805,86 | 21.301,52 | 17.495,66 | 82,13 | 49,73 | 14 |
| 14 | 20  | 28 | 16 | 4.024 | 67,1 | 3.638,00 | 18.666,67 | 15.028,67 | 80,51 | 54,24 | 13 |

Produtividade de grãos de feijão (PROD), custo operacional total (COT), receita bruta (RB), lucratividade operacional (LO), índice de lucratividade (IL), preço econômico (PE) e produtividade econômica (ProE).

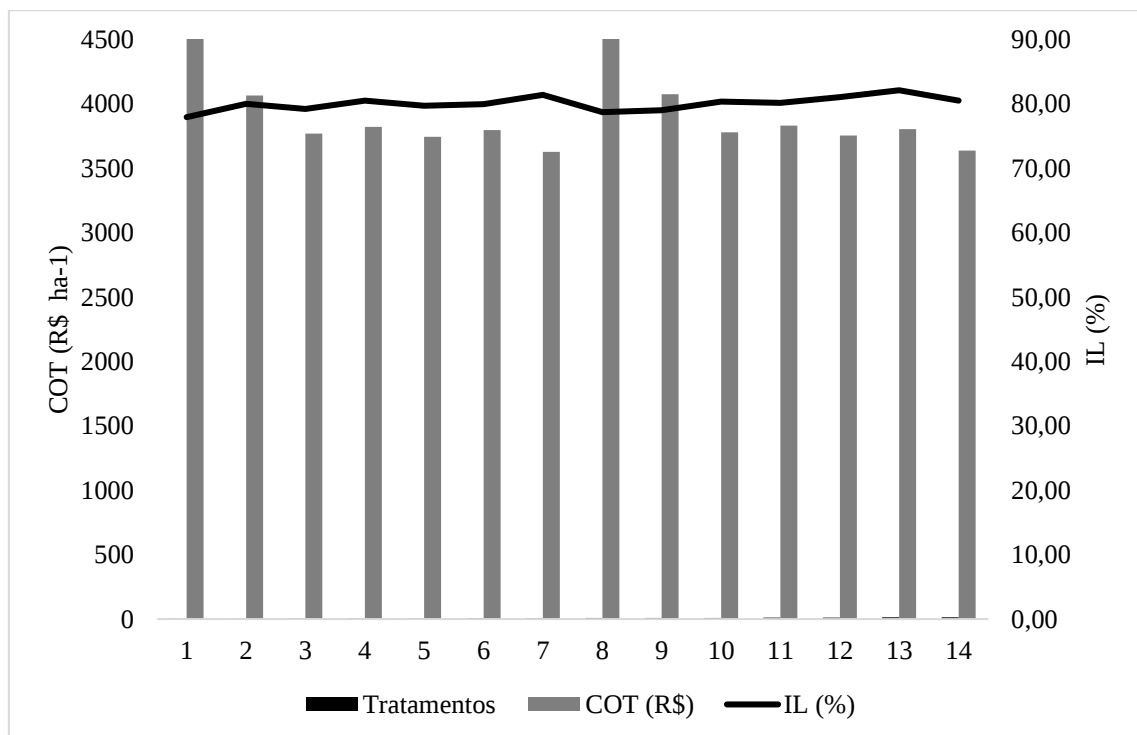
**Tabela 4.** Indicadores de rentabilidade do feijão de inverno irrigado, em função dos manejos de adubação nitrogenada de cobertura com uso do clorofilômetro portátil e inoculação com bactérias, na safra de 2018. Selvíria - MS, safra 2018.

| Trat | N                      | P  | K  | Prod  | Prod                   | COT      | RB        | LO       | IL    | PE                      | ProE                   |
|------|------------------------|----|----|-------|------------------------|----------|-----------|----------|-------|-------------------------|------------------------|
|      | (Kg ha <sup>-1</sup> ) |    |    |       | (sc ha <sup>-1</sup> ) | (R\$)    | (R\$)     | (R\$)    | (%)   | (R\$ sc <sup>-1</sup> ) | (sc ha <sup>-1</sup> ) |
| 1    | 200                    | 28 | 16 | 3.041 | 50,7                   | 4.584,70 | 14.106,69 | 9.521,99 | 67,50 | 90,46                   | 16                     |
| 2    | 100                    | 28 | 16 | 2.780 | 46,3                   | 4.066,90 | 12.895,96 | 8.829,06 | 68,46 | 87,77                   | 15                     |
| 3    | 20                     | 28 | 16 | 2.722 | 45,4                   | 3.654,20 | 12.626,90 | 8.972,70 | 71,06 | 80,55                   | 13                     |
| 4    | 20                     | 28 | 16 | 2.688 | 44,8                   | 3.654,20 | 12.469,18 | 8.814,98 | 70,69 | 81,57                   | 13                     |
| 5    | 20                     | 28 | 16 | 2.831 | 47,2                   | 3.629,00 | 13.132,54 | 9.503,54 | 72,37 | 76,91                   | 13                     |
| 6    | 20                     | 28 | 16 | 2.629 | 43,8                   | 3.629,00 | 12.195,49 | 8.566,49 | 70,24 | 82,82                   | 13                     |
| 7    | 20                     | 28 | 16 | 2.609 | 43,5                   | 3.629,00 | 12.102,72 | 8.473,72 | 70,02 | 83,46                   | 13                     |
| 8    | 200                    | 28 | 16 | 3.003 | 50,1                   | 4.593,70 | 13.930,42 | 9.336,71 | 67,02 | 91,78                   | 17                     |
| 9    | 100                    | 28 | 16 | 2.563 | 42,7                   | 4.075,90 | 11.889,33 | 7.813,43 | 65,72 | 95,42                   | 15                     |
| 10   | 20                     | 28 | 16 | 2.742 | 45,7                   | 3.663,20 | 12.719,68 | 9.056,48 | 71,20 | 80,16                   | 13                     |
| 11   | 20                     | 28 | 16 | 2.662 | 44,4                   | 3.663,20 | 12.348,57 | 8.685,37 | 70,34 | 82,57                   | 13                     |
| 12   | 20                     | 28 | 16 | 2.297 | 38,3                   | 3.638,00 | 10.655,40 | 7.017,40 | 65,86 | 95,03                   | 13                     |
| 13   | 20                     | 28 | 16 | 2.892 | 48,2                   | 3.638,00 | 13.415,51 | 9.777,51 | 72,88 | 75,48                   | 13                     |
| 14   | 20                     | 28 | 16 | 2.607 | 43,5                   | 3.638,00 | 12.093,44 | 8.455,44 | 69,92 | 83,73                   | 13                     |

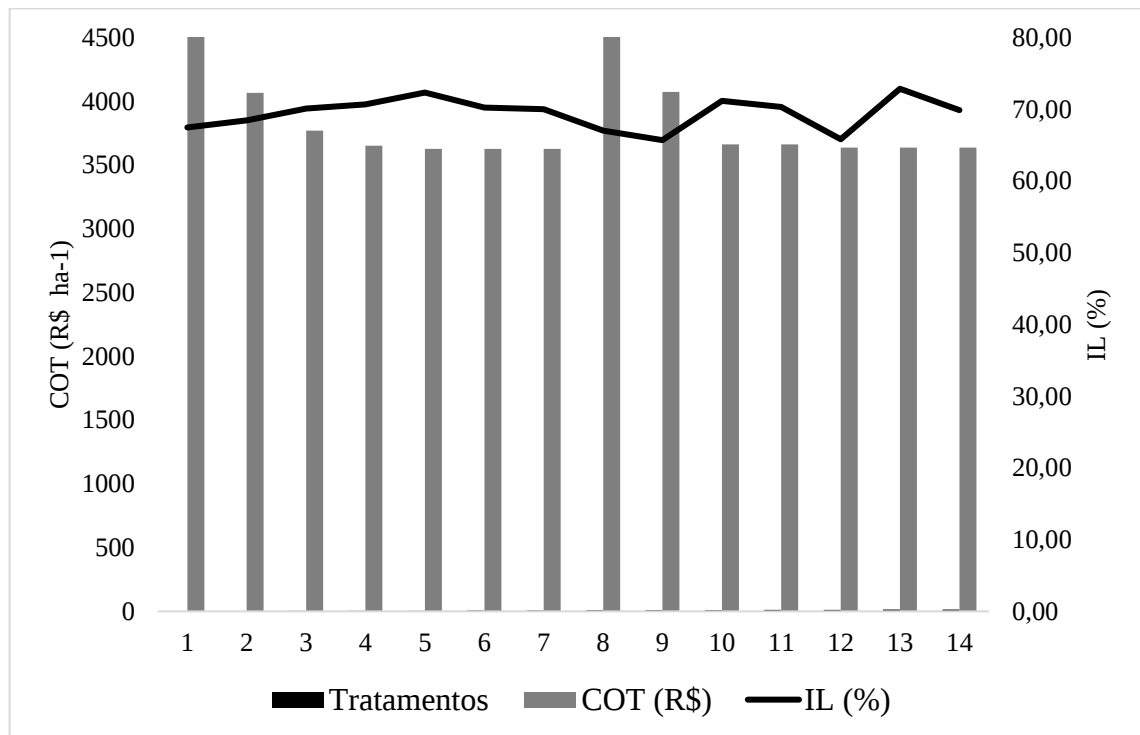
Produtividade de grãos de feijão (PROD), custo operacional total (COT), receita bruta (RB), lucratividade operacional (LO), índice de lucratividade (IL), preço econômico (PE) e produtividade econômica (ProE).



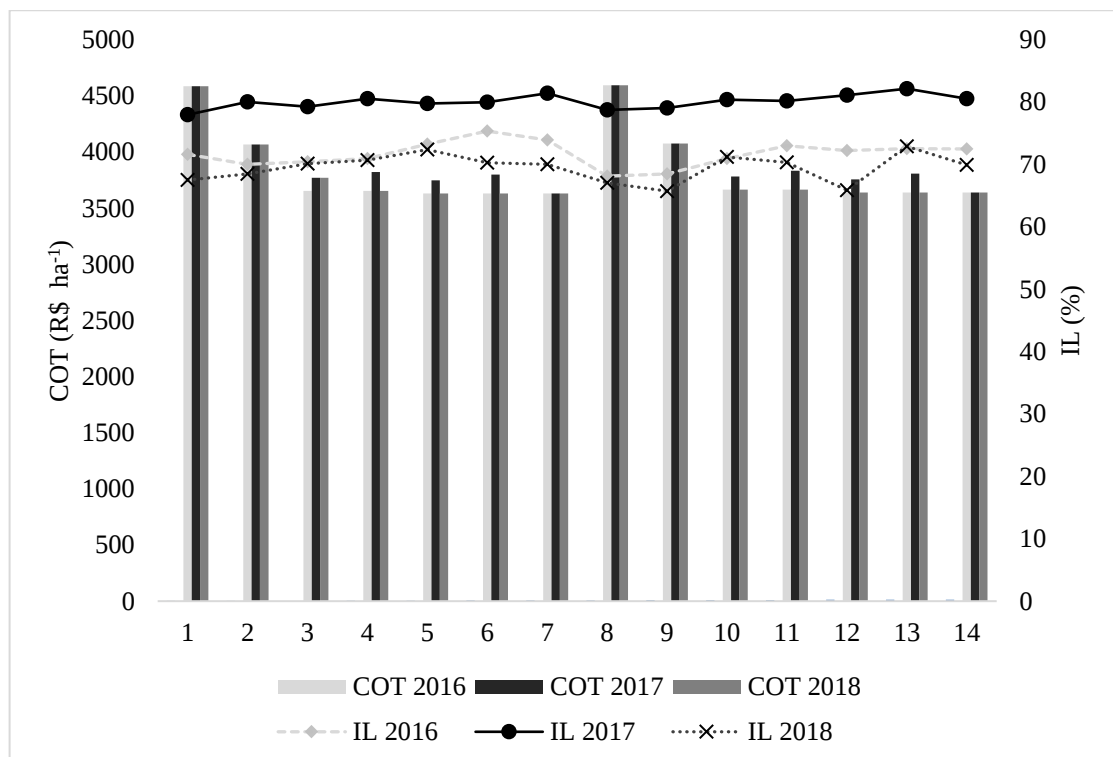
**Figura 1.** Custo operacional total (COT) e índices de lucratividade (IL) em função dos manejos de adubação nitrogenada de cobertura com uso do clorofilômetro portátil e inoculação com bactérias, na safra de 2016. Selvíria - MS, safra 2016.



**Figura 2.** Custo operacional total (COT) e índices de lucratividade (IL) em função dos manejos de adubação nitrogenada de cobertura com uso do clorofilômetro portátil e inoculação com bactérias, na safra de 2017. Selvíria - MS, safra 2017.



**Figura 3.** Custo operacional total (COT) e índices de lucratividade (IL) em função dos manejos de adubação nitrogenada de cobertura com uso do clorofilômetro portátil e inoculação com bactérias, na safra de 2018. Selvíria, MS, safra 2018.



**Figura 4.** Custo operacional total (COT) e índices de lucratividade (IL) em função dos manejos de adubação nitrogenada de cobertura com uso do clorofilômetro portátil e inoculação com bactérias, nas três safras. Selvíria, MS, (safra 2016, 2017 e 2018).

Além disso, observa-se que os tratamentos com inoculação de *Azospirillum brasilense* apresentaram índices de lucratividade expressivos, com média de 74%. Em suma, também a fixação simbiótica de nitrogênio pelas bactérias presentes na área e inoculadas com o uso de *Rhizobium tropici* nas sementes, apresentaram relevância na produtividade de grãos. Como já foi observado por Brito *et al.* (2015), a fertilização com N associada à inoculação com as estirpes comerciais Semia 4077 (CIAT 899) e Semia 4080 (PRF 81) aumenta a produtividade de grãos.

Soares *et al.* (2016) verificaram que aumento nas taxas de aplicação de N incrementa o crescimento vegetativo do feijoeiro, porém reduz a nodulação. Logo, a melhor combinação foi verificada com a inoculação de *Rhizobium* e a aplicação de N-ureia para uma maior lucratividade nas lavouras de feijão em todos os locais avaliados, no entanto, a taxa de aplicação ideal depende do local. Chegaram à conclusão semelhante aos dados desse trabalho, sendo que a aplicação de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N-uréia e inoculação, promove produtividade comparável à observada com 80 kg ha<sup>-1</sup> de N-uréia com rentabilidade econômica no plantio direto.

O efeito positivo da co-inoculação com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* na produtividade de grãos do feijoeiro, já foi relatado por diversos autores (HUNGRIA *et al.*, 2013; SOUZA; FERREIRA, 2017). No quesito economia, Ferreira *et al.* (2020), avaliando a coinoculação em feijão-comum irrigado em produção comercial e familiar, verificaram que a receita líquida do tratamento com inoculação de *Rhizobium tropici* e 3 doses de *Azospirillum brasilense* via foliar foi maior que o do tratamento com 80 kg ha<sup>-1</sup> de N e proporcionou maiores ganhos econômicos.

Vale ressaltar que as bactérias diazotróficas fixadoras de N<sub>2</sub> atualmente são bastante estudadas, pois além de incrementos de produtividade, há evidências de uma contribuição na produção de fitohormônios, aumento do volume radicular e, conseqüentemente, exploram de forma mais abrangente o substrato ou solo (SABUNDJIAN *et al.*, 2014).

Galindo *et al.* (2020) confirmaram que a coinoculação com *A. brasilense* também aumentou a produtividade de grãos do feijão-caupi, sem a necessidade de aplicação de fertilizante nitrogenado em cobertura, sendo uma tecnologia viável economicamente. Por fim, apesar de não apresentar diferença em relação à ausência de inoculação no presente

experimento, o custo da dose do inoculante para o produtor é mínimo, o que pode trazer maior margem de ganho com incrementos na produtividade de grãos do feijoeiro comum.

Reforça-se a importância de avaliar os benefícios em relação aos custos e retornos obtidos de pequenos aumentos na produtividade, quanto à adubação nitrogenada, com auxílio do clorofilômetro, para tomada de decisão quanto à aplicação do nutriente. Silveira e Gonzaga (2017) encontraram correlações entre doses e fatores de ajuste de fertilização que variaram de 1,1-1,5 kg ha<sup>-1</sup> de N para cada 0,1 ponto percentual de NSI inferior a 95%. No entanto, em condições de campo, a relação benefícios/custos deve ser considerada para tal aplicação quando detectada necessidade de pequenas doses de N.

A complexidade dos sistemas agrícolas converte para caminhos mais sustentáveis, como visto em análises recentes de previsões do futuro da agricultura de Hunter *et al.* (2017), dominado por uma narrativa desequilibrada que clama para que a produção de alimentos aumente dramaticamente - potencialmente dobrando até 2050. Por exemplo, deveriam usar menos N para evitar perdas de fertilizantes por lixiviação e escoamento, a fim de atender o objetivo dos agricultores de maximizar o retorno econômico (BASSO; ANTLE, 2020).

#### 4.4 CONCLUSÕES

O menor COT foi obtido na ausência da adubação nitrogenada de cobertura, pelo monitoramento com o clorofilômetro, possibilitando a economia de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, reduzindo 10% do custo de produção, em valores o correspondente a R\$357,20 ha<sup>-1</sup> (ureia + aplicação).

O manejo da adubação nitrogenada, por meio de leituras com clorofilômetro, proporcionou maior viabilidade técnica e econômica com o feijão de inverno irrigado, sendo uma tecnologia recomendada sem a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados em cobertura.

Os tratamentos com inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium tropici* apresentaram produtividade de grãos elevada, não diferindo do tratamento que recebeu a dose máxima de N (200 kg ha<sup>-1</sup> de N) e, conseqüentemente, proporcionaram maior lucro total, haja vista a redução dos custos com adubação nitrogenada em cobertura.

## REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL 2021. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: AgraFNP. 2021. p. 280-285.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; CANTARELLA, H. Feijão. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 1997. p. 194-195.
- BASSO, B.; ANTLE, J. Agricultura digital para projetar sistemas agrícolas sustentáveis. **Nat Sustain**, Johannesburg, v. 3, p. 254–256, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>. Acesso em: 29 dez. 2020.
- BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Fontes e doses de nitrogênio em cobertura no feijoeiro de Inverno irrigado no sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 5, p. 665-670, 2010.
- BRITO, L. F.; PACHECO, R. S.; SOUZA FILHO, B. F.; FERREIRA, E. P. B.; STRALIOTTO, R.; ARAÚJO, A. P. Resposta do feijoeiro comum à inoculação com rizóbio e suplementação com nitrogênio mineral em dois biomas brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 981-992, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140322>. Acesso em: 12 jun. 2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. 2021. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos Safra 2020/21 – quarto levantamento. Brasília: CONAB. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 30 jan. 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-Embrapa. **Catálogo de Cultivares de Feijão Comum 2016-2017**. 2.ed. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1062715/catalogo-de-cultivares-de-feijao-comum>. Acesso em: 08 dez. 2020.
- FAGERIA, N. K.; MELO, L. C.; OLIVEIRA, J. Eficiência do uso de nitrogênio em genótipos de feijão seco, **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 36, n. 14, p. 2179-2190, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.836225>. Acesso em: 12 dez. 2020.
- FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade, eficiência agronômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 165-172, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100021>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- FERREIRA, E. P. B.; SILVA, O. F.; WANDER, A. E. Economics of rhizobia and azospirilla co-inoculation in irrigated common bean in commercial and family farming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 55, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-510.1590/s1678-3921.pab2020.v55.01532>. Acesso em: 12 jan. 2021.
- GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; FERNANDES, G. C.; RODRIGUES, W. L. Technical and economic viability of cowpea co-

inoculated with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. and nitrogen doses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 5, 304-311, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-510.1590/1807-1929/agriambi>. Acesso em: 22 jan. 2021.

GERLACH, G. A. X.; ARF, O.; CORSINI, D. C. D. C.; SILVA, J. C.; COLETTI, A. J. Análise econômica da produção de feijão em função de doses de nitrogênio e coberturas vegetais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, p. 42-49, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-510.1590/S1983-40632013000100005>. Acesso em: 30 dez. 2020.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Coinoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, Florence, v. 49, p. 791-801, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-510.1007/s00374-012-0771-5>. Acesso em: 20 nov. 2020.

HUNTER, M. C.; SMITH, R. G.; SCHIPANSKI, M. E.; ATWOOD, L. W.; MORTENSEN, D. A. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. **BioScience**, Cary, v. 67, p. 386-391, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>. Acesso em: 15 set. 2020.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA-IPEA. **Preços médios mensais recebidos pelos agricultores**. 2020. Disponível em: [http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precos\\_medios.aspx?cod\\_sis=2](http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precos_medios.aspx?cod_sis=2). Acesso em: 30 nov. 2020.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; THUNG, M.; OLIVEIRA, F. R. A.; COBUCCI, T. **Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 63 p. Documentos Embrapa Arroz e Feijão, 188.

LEAL, F. T.; FILLA, V. L.; BETTIOL, J. V. T.; SANDRINI, F. O. T.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B. Use efficiency and responsivity to nitrogen of common bean cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943004919>. Acesso em: 25 jun. 2020.

LISBOA, C. C.; OLIVEIRA, J. R.; DIAS DE LIMA, F. R.; SILVA, E. A.; SILVA, C. A.; GRANATE DE SÁ, J.J.; MARQUES, M. Leaching of nitrate and ammonium in Anionic Acrudox. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Dois Irmãos Recife, v. 14, n. 2, p. 1-8, 2019. Disponível em: 10.5039/agraria.v14i2a5658. Acesso em: 05 abr. 2021.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. Índice de suficiência de nitrogênio fundamenta as estimativas das necessidades de fertilização com nitrogênio do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, 183-192, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100019>. Acesso em: 20 dez. 2020.

MARTIN, N. B.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M. D. M.; ÂNGELO, J. A.; OKAWA, H. Sistema integrado de custos agropecuários - "CUSTAGRI". **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 7-28, 1998.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. N. E.; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F. Aspectos climáticos no feijoeiro. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R.P.; FERRARI, S. (ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L.** Botucatu: FEPAF. 2015. p. 65-75.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. 2001. 285 p.

ROSA, W. B.; DUARTE JR, J. B.; COSTA, A. C. T.; LANA, M. C.; PEREGO, I.; ABRÃO, P. C. Desempenho agronômico e viabilidade econômica da adubação nitrogenada e molíbdica no feijão comum. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 9, p. 65815-65831, 2020. Disponível em: [10.34117/bjdv6n9-129](https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-129). Acesso em: 02 jan. 2021.

SABUNDJIAN, M. T.; ARF, O.; TARSITANO, M. A. A.; KANEKO, F. H.; CORSINI, D. C. D. C. Análise econômica da adubação nitrogenada em feijoeiro de inverno sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 349-356, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000400005>. Acesso em: 05 dez. 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. C. F.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, M. S. G.; NOGUEIRA, G. P.; COELHO, A. P.; LEAL, F. T.; FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Desempenho agronômico, qualitativo e retorno econômico relativo do feijoeiro sob fontes e doses de nitrogênio. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 29, n. 3, p. 365-378, 2020.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. Viabilidade econômica da cultivar de feijão-comum BRS Estilo. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, Blumenau, v. 3, n. 1, p. 223, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7867/2317-5443.2015v3n1p223-242>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SILVEIRA, P. M.; GONZAGA, A. C. O. O medidor portátil de clorofila pode estimar o índice de suficiência de nitrogênio e os níveis de nitrogênio de cobertura no feijão comum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 1-6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742128>. Acesso em: 02 nov. 2020.

SOARES, B. L.; FERREIRA, P. A. A.; RUFINI, M.; MARTINS, F. A. D.; OLIVEIRA, D. P.; REIS, R. P.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Agronomic and economic efficiency of common-bean inoculation with rhizobia and mineral nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, e0150235, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150235>. Acesso em: 23 fev. 2021.

SOUZA, J. E. B.; FERREIRA, E. P. B. Improving sustainability of common bean production systems by co-inoculating rhizobia and azospirilla. **Agriculture, Ecosystems &**

**Environement**, Amsterdam, v. 237, p. 250-257, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.040>. Acesso em: 15 ago. 2020.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As condições de realização do experimento foram adequadas para o desenvolvimento da cultura do feijão de inverno, cultivar BRS Estilo, em área de cerrado de baixa altitude e clima Aw. O solo do local classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, com alta fertilidade, sob SPD consolidado em sucessão ao milho, nas três safras 2016, 2017 e 2018.

- O monitoramento por meio de leituras indiretas do teor de clorofila é eficiente para a indicação do momento de aplicação e da exigência de N em cobertura na cultura do feijão comum, visto a correlação do índice de clorofila foliar, com a concentração de N e produtividade de grãos;

- O uso do *Rhizobium tropici* no feijão auxilia na fixação de nitrogênio e seu fornecimento às plantas, não diferindo da produtividade com uso de 160 kg ha<sup>-1</sup>, possibilitando a redução do uso de adubos minerais nitrogenados;

- A economia com adubação nitrogenada em cobertura, pelo manejo com clorofilômetro e uso de bactérias diazotróficas, possibilitou elevadas produtividades de grãos do feijoeiro de inverno, com redução dos custos em comparação ao uso de N em cobertura, consequentemente, proporciona maior lucro ao produtor.

## ANEXOS

1. Sementes certificadas da cultivar BRS Estilo, com 98% pureza mínima, peneira: 13 (A); Tratamento químico de sementes em betoneira (B); Inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* (C); Secagem das sementes à sombra, após tratamento, para semeadura em seguida (D).

A.



B.



C.



D.



2. Semeadura do feijão de inverno (A), semeadora a vácuo, com as sementes tratadas (B), acompanhamento da quantidade de sementes  $m^{-2}$  (C), vista geral da área na semeadura, com palhada do milho (D), término da semeadura do feijão no final da tarde (E).

A.



B.



C.



D.



E.



3. Emergência da cultura aos 6 DAE (A); Aplicação de ureia aos 10 e 20 DAE nos tratamentos M1 e M2 (B, C); Aplicação de *Azospirillum brasilense* via foliar no estágio V<sub>4</sub> (D).

A.



B.



C.



D.



4. Monitoramento da adubação de cobertura com clorofilômetro, aos 15, 22, 29, 36 e 44 DAE (A, B, C, D).

A.



B.



C.



D.



5. Desenvolvimento da cultura (A); Irrigação por aspersão e condução do feijoeiro de inverno (B); Tratos culturais no início e desenvolvimento da cultura (C, D); Vista geral da cultura (E); Avaliação de massa seca de plantas (F).

A.



B.



C.



D.



E.



F.



6. Florescimento pleno (A, B); Vista geral da cultura com registros feitos por drone (Insight Engenharia - Ilha Solteira) e demarcação das áreas de referência (M1) (C, D).

A.



B.



C.



D.



7. Maturação da cultura (A); Enchimento de grãos (B); Arranquio (C); Ensacamento do feijão colhido (D); Avaliação final (E); Secagem das plantas colhidas (F); Abanando os grãos para avaliações de componentes de produção e produtividade; Contagem de vagens por planta.

A.



B.



C.



D.



E.



F.



G.



H.

