

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DO FEIJÃO COMUM:
INOCULAÇÃO, COINOCULAÇÃO E ADUBAÇÃO MINERAL
EM CULTIVARES DE CICLO PRECOCE**

João Vítor Trombeta Bettiol

Engenheiro Agrônomo

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DO FEIJÃO COMUM:
INOCULAÇÃO, COINOCULAÇÃO E ADUBAÇÃO MINERAL
EM CULTIVARES DE CICLO PRECOCE**

Discente: João Vítor Trombeta Bettiol

Orientador: Prof. Dr. Leandro Borges Lemos

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)**

2019

B565p Bettiol, João Vítor Trombeta
Produção sustentável do feijão comum: inoculação, coinoculação
e adubação mineral em cultivares de ciclo precoce / João Vítor
Trombeta Bettiol. -- Jaboticabal, 2019
51 f. : il., tabs., 4 v. + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Leandro Borges Lemos

1. Agricultura. 2. Feijão. 3. Adubos e fertilizantes. 4.
Sustentabilidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DO FEIJÃO COMUM: INOCULAÇÃO, COINOCULAÇÃO E ADUBAÇÃO MINERAL EM CULTIVARES DE CICLO PRECOCE

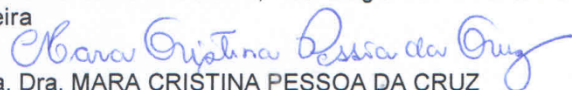
AUTOR: JOÃO VÍCTOR TROMBETA BETTIOL

ORIENTADOR: LEANDRO BORGES LEMOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. LEANDRO BORGES LEMOS
Departamento de Produção Vegetal (Fitotecnia) / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ORIVALDO ARF
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 21 de outubro de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOÃO VÍCTOR TROMBETA BETTIOL – Filho de Aparecida Conceição Trombeta Bettiol e Antônio Carlos Bettiol, nasceu na cidade de Santa Fé do Sul, São Paulo, no dia 21 de outubro de 1992. Em março de 2011 entrou no curso de graduação de Engenharia Agrônômica na Faculdade de Engenharia, Unesp, Câmpus de Ilha Solteira, com conclusão realizada em janeiro de 2017. Durante a graduação, desenvolveu diversos projetos na área de Fitotecnia e Fitossanidade, sendo bolsista de iniciação científica pela Fundação Agricultura Sustentável (AGRISUS) e pela Fundação de Apoio à Pesquisa de Ilha Solteira (FEPISA), desenvolvendo o projeto intitulado “*Urochloa ruziziensis* solteira ou em consórcio com leguminosas e seus efeitos sobre a produtividade de sementes do feijoeiro” e teve experiência internacional de um ano durante a graduação, desenvolvendo projetos na Universidade de Salamanca e “Centro Hispanoluso de Investigaciones Agrarias” (CIALE), Espanha, pelo programa Ciências Sem Fronteiras. Realizou estágio curricular obrigatório na Fundação Chapadão, em Chapadão do Sul/MS, na área de Pesquisa em pragas e plantas daninhas. Em março de 2017 ingressou no mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), com conclusão realizada em junho de 2019.

“Não tenho todas as respostas; nem tampouco todas as questões. Penso sempre em novas questões, e há sempre novas questões a aflorar. Mas as respostas têm que ser pensadas de acordo com as diferentes situações, sendo necessário esperar por elas. Confesso que, devido ao meu temperamento, a primeira resposta que me vem à mente é normalmente errada.”

(Papa Francisco, *in* ‘*Ambrogetti & Rubin*’ (2013))

“A experiência é o nome que damos aos nossos erros.” (Oscar Wilde)

Aos meus avós paternos, João Bettiol (*In memoriam*) e Liria Ferreira Bettiol, e maternos, Sebastião Trombeta (*In memoriam*) e Maria Vicente Teixeira.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Nossa Senhora de Fátima e Santos Reis, pelo dom da vida, e por me manter focado nas minhas ações.

Aos meus pais, Antonio Carlos Bettiol e Aparecida Conceição Trombeta Bettiol, pelo exemplo de casal, de pais, de pessoas. Pode parecer clichê, mas tenho orgulho em falar que meus pais são meus heróis e peço a Deus todos os dias para ser igual a eles.

À minha irmã, Aline Carla Trombeta Bettiol, por ser a pessoa que mais me deu apoio em todas minhas decisões, além de irmã é uma amiga e acima de tudo um exemplo de pessoa.

Aos meus avós paternos, João Bettiol (*In memoriam*) e Liria Ferreira Bettiol e maternos, Sebastião Trombeta (*In memoriam*) e Maria Vicente Teixeira.

Ao meu orientador, Leandro Borges Lemos, pelos ensinamentos, pela orientação, pela amizade, pela disponibilidade e principalmente pela paciência e compreensão nas decisões que tomei.

À professora Mara Cristina Pessôa da Cruz e a todos do Laboratório de fertilidade do Solo, pela disponibilidade sempre e principalmente por incentivar minha família e eu a arriscarmos nos nossos sonhos.

Aos amigos que fiz na graduação e que se tornaram parte da família, em especial a João William Bossolani, Luiz Fernando Merloti, Ariadne Carla de Carvalho, Alexandre Pedrinho, Flavia Meirelles, Mayara Martins, Gleico Santana, Isabela Ignácio, Mayara Rodrigues, Geison Medeiros, dentre tantos outros.

Aos amigos de pós-graduação, alguns de longa data, por me auxiliarem no desenvolvimento da pesquisa, em especial a Yane Freitas que nunca negou um auxílio no desenvolvimento dos meus trabalhos.

Aos membros do grupo SAGRIS (Sustentabilidade em Sistemas de Produção): Stefany Souza, Jordana Flôres, Adailza Guilherme Cavalcante, Flávia Meirelles, Hugo Nunes, Victor Damico D'Amiã, Fernando de Oliveira Turci, Rafael Roms, João Dorati, Suzenande Oliveira, Vinícius Cambaúva, João Deienno, Pedro Afonso Couto Júnior e em especial aos meus companheiros dentro do grupo de pesquisa, Fábio Tiraboschi

Leal, Vinicius Augusto Filla e Marcus Vinícius Pires Alves, presentes no campo e no laboratório, sem os quais não seria possível concluir esse trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal: Rubens Libório (Faro-Fino) pelo auxílio no campo, laboratório e pela sinceridade, e à Mônica, pela assistência e disposição.

Aos funcionários da FEPE (Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão), em especial ao Marcelo Scatolin e equipe, pelo auxílio durante a implantação, condução e colheita do experimento.

Ao meu orientador da graduação, professor Marco Eustáquio de Sá, por ser referência de conhecimento e atitudes.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (Fundação MT), por me liberar para que eu pudesse concluir meus estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, a qual sou eternamente grato.

E por fim, à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, a qual só tenho a agradecer.

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Nitrogênio no feijoeiro comum.....	2
2.2 Fixação biológica de nitrogênio no feijão	4
2.3 Co-inoculação na cultura do feijão	6
3 MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental	8
3.2 Caracterização das cultivares de feijão utilizadas	10
3.3 Delineamento experimental e tratamentos	10
3.4 Instalação e condução do experimento	11
3.5 Avaliações	12
3.5.1 Índice de clorofila foliar	12
3.5.2 Área foliar	12
3.5.3 Número de trifólios por planta	12
3.5.4 Massa seca de parte aérea	12
3.5.5 Nodulação	13
3.5.6 Componentes de produção	13
3.5.7 Produtividade de grãos	13
3.5.7 Massa de 100 grãos	14
3.5.8 Atributos qualitativos	14
3.6 Análise estatística	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÕES	30
6 REFERÊNCIAS	31
APÊNDICE	38

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DO FEIJÃO COMUM: INOCULAÇÃO, COINOCULAÇÃO E ADUBAÇÃO MINERAL EM CULTIVARES DE CICLO PRECOCE

RESUMO – A utilização de manejos sustentáveis para maximizar a produtividade das culturas sem aumentar os custos de produção é um dos grandes desafios da agricultura atual. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de manejos de fornecimento de nitrogênio, associando formas de inoculação com *Rhizobium tropici*, co-inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação mineral de cobertura, no desempenho agrônômico de cultivares de feijão comum do grupo comercial carioca de ciclo precoce. O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados (DBC), no esquema fatorial 2x12 (2 cultivares e 12 manejos de fornecimento de N), com quatro repetições. Para os manejos de fornecimento de N foram associados adubação mineral de cobertura com N (45 e 90 kg ha⁻¹ de N), inoculação de sementes com *Rhizobium tropici* e coinoculação via semente e foliar com *Azospirillum brasilense*. Foram avaliados o número de trifólios por planta, área foliar, índice de clorofila, teor de nitrogênio foliar e nos grãos, massa seca de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por planta e produtividade, número de nódulos por planta, massa seca de nódulos por planta, massa seca de raízes e eficiência de nodulação. Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e, quando necessário, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Com exceção da massa seca de plantas, todas as variáveis analisadas apresentaram máxima resposta no tratamento com inoculação de sementes com *Rhizobium tropici*, aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* e adubação mineral em cobertura com 90 kg ha⁻¹ de N, sendo que na produtividade houve incremento de 27% em relação ao controle. Os resultados demonstraram a viabilidade da utilização de coinoculação com *Azospirillum brasilense* como ferramenta para aumentar a produtividade e sustentabilidade nos sistemas de produção de feijão.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., adubação mineral, fixação biológica de nitrogênio, *Rhizobium tropici*, *Azospirillum brasilense*.

SUSTAINABLE PRODUCTION OF THE COMMON BEAN: INOCULATION, CO-INOCULATION AND MINERAL FERTILIZATION IN EARLY CYCLE CULTIVARS

ABSTRACT – The use of sustainable managements techniques to maximize crop productivity without increasing production costs is one of the great challenges of modern agriculture. The objective of this study was to assess the effect of different nitrogen management by testing the inoculation with *Rhizobium tropici*, co-inoculation with *Azospirillum brasilense*, and topdressing N fertilization on the agronomic performance of common bean cultivars of early cycle. The experiment was carried out in a randomized block design (RBD), in a 2x12 factorial scheme (2 cultivars and 12 N supply management), with four replications. For N supply management, it was used topdressing N fertilization (45 and 90 kg ha⁻¹ N), seed inoculation with *Rhizobium tropici*, and seed and leaf co-inoculation with *Azospirillum brasilense*. It was evaluated: the number of trifolium per plant, leaf area, chlorophyll index, leaf and grain nitrogen content, dry mass of plants, number of pods per plant, number of grains per plant and yield, number of nodules per plant, dry matter of nodules per plant, dry matter of root, and nodulation efficiency. Data were subjected to analysis of variance (F test) and, when necessary, means were grouped by Scott-Knott test at 5% probability. Except for the dry mass of plants, all variables analyzed showed maximum response in the treatment with seed inoculation with *Rhizobium tropici*, foliar application of *Azospirillum brasilense*, and topdressing fertilization with 90 kg ha⁻¹ of N. In general, this treatment increased in 27% the common bean productivity compared to control (no fertilized). Our results demonstrated the viability of using co-inoculation with *Azospirillum brasilense* as a tool to increase productivity and sustainability in bean production systems.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., mineral fertilization, biological nitrogen fixation, *Rhizobium tropici*, *Azospirillum brasilense*.

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa consumida por milhões de pessoas como principal fonte de proteína em muitos países (Khoury et al., 2014). Essa leguminosa constitui fonte primária de proteína na dieta da população brasileira, sendo o consumo per capita estimado em 17,8 kg ano⁻¹ (Embrapa Arroz e Feijão, 2015), sendo a principal proteína de baixo custo para as populações de países subdesenvolvidos (Fageria et al., 2014).

Com ampla adaptação edafoclimática, o feijão é cultivado no Brasil em diversos sistemas de produção, desde pequenos produtores com baixa tecnologia, até médios e grandes produtores em sistemas altamente tecnificados (Souza et al., 2017). Apresenta elevada exigência nutricional, destacando-se o N (Fageria et al., 2015) como o nutriente mais extraído pela cultura, e com exportação em média de 35 kg de N por tonelada de grãos (Ambrosano et al. 1997). Para contornar essa situação, uma das alternativas disponíveis para os produtores é a utilização de tecnologias para que as lavouras alcancem o seu máximo potencial produtivo, empregando de técnicas sustentáveis e conservacionistas, pois em razão do crescimento significativo na produção agrícola nos últimos anos, tem-se também aumento nos impactos potenciais da agricultura no ambiente (Preschl et al., 2017).

Devido a essa elevada e crescente necessidade de alimentos, torna-se necessária a indagação: como otimizar a agricultura, causar os menores impactos possíveis no ambiente e produzir de maneira sustentável e economicamente viável? A agricultura sustentável envolve a utilização de tecnologias ecológicas (Sharma et al., 2017) e, nessa questão, diversas estratégias são atualmente discutidas, como por exemplo melhoria no gerenciamento de nutrientes para aumentar sua eficiência (Dalgaard et al., 2011).

Visando maximizar o desempenho da fixação biológica, a utilização da técnica de co-inoculação é uma aliada. A técnica tem benefícios comprovados para a cultura da soja e com potencial expressivo para cultura do feijão. Ela consiste em utilizar e combinar a inoculação das sementes com *Rhizobium* para cultura do feijão, sendo esta bastante utilizada pelos produtores, com a

inoculação de *Azospirillum*, bactéria comprovadamente promotora do crescimento em gramíneas.

Araújo et al. (1996) descreveram os benefícios da simbiose na cultura do feijão-comum que se inicia entre os 15 e 20 dias após a semeadura. Andraus (2014) em avaliação de campo com 10 cultivares de ciclos precoce e semi-precoce, comparadas a outras 10 cultivares de ciclos médio e tardio, reportou que as cultivares de ciclos normal e tardio apresentaram atividade nodular até a fase fenológica R6, enquanto as cultivares de ciclos precoce e semi-precoce apresentaram atividade nodular até R7, representando um total de 3 dias a mais de atividade nodular nesses cultivares. Associado a isso, a escolha do cultivar deve ser em função do sistema de produção adotado, uma vez que os materiais apresentam respostas diferentes em função do sistema utilizado (Lemos et al., 2015).

Devido a diversidade das respostas, bem como dos manejos existentes nos sistemas produtivos atuais, torna-se de extrema importância o aprofundamento nos estudos direcionados a minimizar os impactos ambientais da agricultura moderna e maximizar a sustentabilidade do sistema produtivo. Desta forma, objetivou-se avaliar o efeito de manejos no fornecimento de nitrogênio, associando inoculação com *Rhizobium tropici*, co-inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação mineral de cobertura, no desempenho agrônomo de cultivares de feijão - comum do grupo comercial carioca de ciclo precoce.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Nitrogênio no feijoeiro comum

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é amplamente cultivado em regiões de clima temperado e subtropical. É a principal e mais importante cultura no mundo, utilizada diretamente na alimentação humana, consumida e produzida em todos os continentes. A América do Sul é o continente que mais produz e consome feijões, com destaque especial para o Brasil. Os feijões são considerados um alimento quase perfeito, por possuírem boa quantidade e

qualidade de proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e outros compostos importantes para a saúde humana (Jones, 1999).

No Brasil, a importância social e econômica da cultura do feijoeiro é evidenciada, principalmente, por representar uma importante fonte proteica na dieta alimentar da população e pelo contingente de pequenos produtores envolvidos na sua produção, embora tenha havido nos últimos anos crescente interesse de produtores de outras classes do agronegócio, adotando técnicas avançadas, incluindo a irrigação e a colheita mecanizada (Yokoyama, 2002).

Entre as técnicas de manejo necessárias para atingir boas produtividades está a adubação nitrogenada. Embora o feijoeiro supra parte da sua demanda de N pela associação com bactérias do gênero *Rhizobium* a quantidade fornecida por esse processo normalmente é insuficiente, necessitando ser completada, o que via de regra é feito por meio da adubação mineral (Silva, 1998).

Dentre os nutrientes exigidos pelo feijoeiro, o N é o mais absorvido (Soratto et al., 2013) e desempenha diversas funções na planta, dentre elas: constituinte de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (Taiz; Zeiger, 2013); participa dos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, sínteses em geral, multiplicação e diferenciação celular, estimula o crescimento de raízes e a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas (Grassi Filho, 2010). Portanto, a deficiência de N inibe, rapidamente, o crescimento e o desenvolvimento vegetal (Taiz; Zeiger, 2013).

A eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados na produção das culturas anuais, como o feijoeiro, é em média de 50%, e as causas para esse baixo valor estão relacionadas com doses e épocas de aplicação inadequadas e também com as diversas vias pela qual o elemento pode ser perdido como: volatilização de amônia, desnitrificação, erosão, imobilização microbiana, lixiviação de nitrato e escoamento superficial, provocado pela água das chuvas e/ou irrigações (Lago et al., 2009; Reis Junior et al., 2011).

Pelo fato de os agricultores não disporem de resultados da análise da planta ou de outro método de orientação, a adubação nitrogenada mineral é quantificada pela análise visual da lavoura ou baseada numa recomendação tradicional. Se a adubação nitrogenada for subestimada, ocorre redução no rendimento de grãos e se superestimada, ocorre aumento dos custos, pelo uso

desnecessário de adubo e, conseqüentemente, prejuízos ao meio ambiente pela lixiviação de nitrato (Silveira et al., 2003).

As principais fontes de N para a cultura do feijoeiro são o solo, por meio da decomposição da matéria orgânica, a aplicação de adubos nitrogenados e a fixação biológica de N₂ atmosférico, pela associação do feijoeiro com bactérias do grupo dos rizóbios (Hungria et al., 1997; Mercante et al., 1999).

O adubo nitrogenado tem alto custo energético para sua obtenção e o seu manejo representa uma das principais dificuldades da cultura do feijão (Santos et al., 2003).

A simbiose leguminosa/bactéria fixadora pode reduzir ou até mesmo suprimir toda a necessidade da cultura em fertilizantes nitrogenados, o que traz grande vantagem ambiental e econômica. O maior exemplo é a soja brasileira, na qual a eficiência da simbiose com *Bradyrhizobium* é tanta que fornece todo o nitrogênio exigido pela cultura, o que além de trazer benefícios ambientais, proporciona menor custo de produção e, com isso, alta competitividade no mercado internacional e maior lucratividade ao produtor (Mendes et al., 2014).

Mesmo que a inoculação não seja suficiente para suprir todo o nitrogênio requerido pela planta, e com a realização de adubações nitrogenadas em cobertura, a eliminação ou redução da adubação na semeadura já representa economia a ser considerada (Araújo, 1994).

2.2 Fixação biológica de nitrogênio no feijão

O feijoeiro, a exemplo de outras leguminosas, apresenta a propriedade de fixar o nitrogênio da atmosfera quando em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, o que pode contribuir para a redução no uso de fertilizantes nitrogenados. Estudos visando aumento da produtividade do feijoeiro, através da fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico, têm mostrado a possibilidade de se obter rendimento de até 1.600 kg ha⁻¹, na ausência de adubação nitrogenada (Döbereiner; Duque, 1980).

Na associação com leguminosas, a bactéria (rizóbio) tem como característica principal a capacidade de interação com o sistema radicular da planta hospedeira por meio do desenvolvimento de estruturas hipertróficas altamente especializadas, os nódulos radiculares, local onde ocorre a FBN. Essa

interação representa uma simbiose, ou, mais especificamente, uma interação mutualística, já que a bactéria se beneficia do suprimento de fotossintatos fornecidos pela planta hospedeira, enquanto a planta recebe o N fixado pelo rizóbio na forma amoniacal, transformando-o em compostos nitrogenados que podem ser translocados para suas diferentes partes (Cassini; Franco, 2006).

Estudos têm demonstrado que é possível que essa cultura se beneficie, em condições de campo, do processo de fixação biológica de N₂, podendo alcançar produtividade acima de 2.500 kg ha⁻¹ (Hungria et al., 2000).

O aumento de produtividade pode ocorrer e é atribuído à potencialização da nodulação e/ou a atividade dos nódulos (Burdman; Hamaoui; Okon, 2000; Ferlini, 2006) e/ou à ampliação da superfície radicular e, assim, aumento do volume de solo explorado e absorção de N (Ferlini, 2006).

A nodulação é um processo complexo que tem início logo após a germinação, com a presença do rizóbio no solo ou aderido às sementes, e envolve três etapas principais (Cassini; Franco, 2006): a) pré-infecção (reconhecimento dos simbioss e interação entre superfícies da bactéria e da planta); b) infecção da planta pela bactéria e formação do nódulo e c) funcionamento do nódulo e FBN (Moreira; Siqueira, 2006).

De acordo com Malavolta (1987), o feijoeiro consegue fixar de 20 a 30% do N que necessita através da FBN, podendo contribuir com 20 a 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Fancelli; Dourado Neto, 2007).

Rhizobium tropici são bactérias gram-negativas, aeróbicas, na qual as condições ótimas para o crescimento são pH de 5 a 7 e temperatura de até 40 °C (Martínez-Romero et al., 1991). Existem estirpes de *R. tropici* com alto desempenho em FBN, selecionadas para as condições edafoclimáticas brasileiras e aprovadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento (MAPA) para a produção de inoculantes comerciais no Brasil (Hungria; Mendes; Mercante, 2013).

Diversos fatores biológicos, químicos e físicos podem interferir na simbiose entre bactérias e planta, dentre eles: temperatura, umidade, salinidade, uso de fertilizantes nitrogenados, efeito de toxicidade de fungicidas e inseticidas aplicados às sementes, solos ácidos, preparo do solo, deficiências nutricionais e elementos tóxicos; além das características da espécie hospedeira (Hungria; Campo; Mendes, 2001).

A escolha da espécie de *Rhizobium* é um fator importante para a fixação simbiótica de nitrogênio, pois existe grande variabilidade entre espécies e raças de *Rhizobium* com respeito à resposta a variações de temperatura. Foi observado que estirpes da espécie *Rhizobium tropici* são mais resistentes às temperaturas elevadas que as estirpes de *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli (Goulart et al. 2000). Sob altas temperaturas, houve estímulo à nodulação, sem prejuízo ao desenvolvimento das plantas, mostrando tolerância da simbiose com *R. tropici* a elevadas temperaturas (Araújo et al., 1993).

Desde os anos 1970 foram testadas várias espécies e estirpes de rizóbios. De início, a prática da inoculação permitia suprimir parte da adubação nitrogenada, porém, ainda sendo necessário a adubação, com no mínimo, 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Guss; Döberelner, 1972; Hungria; Neves, 1986). Com o passar do tempo foram descobertas outras espécies e hoje, com a utilização de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro, pode-se obter produtividade máxima comparáveis a obtida com 160 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aplicando-se apenas 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura, quantidade necessária para suprir a deficiência do nutriente até o estabelecimento da simbiose planta/rizóbio (Pelegri et al., 2009).

Para a obtenção de bons resultados com a inoculação, é importante utilizar bactéria eficiente e realizar, anualmente, a reinoculação, para que a bactéria consiga aumentar sua população e dominar o ambiente, evitando a simbiose com espécies de rizóbios pouco eficientes (Hungria et al., 2003).

2.3 Co-inoculação na cultura do feijão

Com o intuito de melhorar o desempenho do rizóbio e, conseqüentemente, a eficiência da FBN no feijoeiro comum, dentre outros benefícios, a técnica de co-inoculação ou inoculação mista começa a ser explorada na cultura. A co-inoculação consiste na combinação de bactérias do gênero *Rhizobium* (simbióticas) com as do gênero *Azospirillum* (associativas), as quais produzem efeito sinérgico que supera os resultados produtivos obtidos quando utilizadas de forma isolada (Ferlini, 2006; Bárbaro et al., 2008).

A co-inoculação estimula a nodulação e potencializa a atividade dos nódulos, número total e massa de nódulos, diferenciação das células

epidérmicas em pêlos radiculares, área da superfície radicular e produtividade em soja, feijão, alfafa, amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e outras culturas (Bashan; Bashan, 2005).

As bactérias benéficas, as quais promovem o crescimento vegetal, podem ser isoladas tanto da rizosfera como do interior dos tecidos das plantas (Dodd; Zinovkina; Safronova, 2010). Dentre os microorganismos tidos como benéficos, as espécies do gênero *Azospirillum* constituem um dos grupos mais estudados (Hartmann; Baldam, 2006). As bactérias do gênero *Azospirillum* tiveram destaque mundial a partir da década de 1970, com a descoberta da capacidade de FBN dessas bactérias quando em associação com gramíneas (Hungria, 2011).

Azospirillum são bactérias gram-negativas; de vida livre no solo, rizosfera, rizoplano e filosfera; espiraladas; móveis, com flagelo polar e cílios laterais; com metabolismo de carbono e N bastante versáteis, o que lhes confere competitividade durante o processo de colonização. Utilizam no seu metabolismo fontes de N como amônia, nitrato, nitrito, aminoácidos e N molecular.

O *Azospirillum* é um colonizador geral de raízes; sendo assim, não é uma bactéria específica, uma vez que não apresenta preferência por plantas cultivadas, daninhas, anuais ou perenes (Bashan; Holguin, 1997).

A co-inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* é uma tecnologia que foi desenvolvida sobre o fato das bactérias do gênero *Azospirillum* estimularem a produção de fitohormônios pela planta e, conseqüentemente, o desenvolvimento radicular e a nodulação pelo rizóbio (Ribaudó et al., 2005).

Burdman et al. (1996) comprovaram, em experimento, que o feijoeiro, quando associado à *Azospirillum brasilense*, produz maior quantidade flavonóides e isoflavonóides, os quais estimulam a nodulação, o que explica a maior nodulação por rizóbio existente no feijoeiro quando inoculado com *Azospillum* e rizóbio, conjuntamente.

O uso de fixadores eficazes de N₂ juntamente com microorganismos promotores do crescimento vegetal tem se mostrado economicamente viável e ambientalmente seguro. Os incrementos na produtividade das culturas observados com a co-inoculação representam, simultaneamente, um elevado ganho monetário para o agricultor, além de contribuir com os compromissos

governamentais em diminuir as emissões de gases do efeito estufa (HUNGRIA; Mendes; Mercante, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2016/2017, na safra de inverno (3ª safra), no município de Jaboticabal, SP (21° 14' 59" S, 48° 17' 13" W e altitude de 586 m). O clima da região é, Aw segundo Köppen (tropical úmido com estação chuvosa no verão e inverno seco) (Alvares et al., 2013). Os dados de precipitação e temperaturas mínima e máxima durante o experimento são apresentados na Figura 1. No período de desenvolvimento vegetativo do feijão registrados temperatura mínima média de 11,8° C e máxima de 26,6° C, sem chuvas. No período de desenvolvimento reprodutivo foram registradas temperaturas mínimas média de 15,9° C e máxima de 31,7° C com precipitação acumulada de 51,2 mm.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura argilosa (Embrapa, 2013).

O local de estudo possui histórico com culturas anuais (milho, feijão, soja e arroz) no sistema de preparo de solo convencional. A área experimental se encontrava no primeiro ano do sistema de plantio direto (SPD). Foi efetuada a escarificação do solo em 02/12/2016, para implantação do SPD, seguida da aplicação de 1 t ha⁻¹ de calcário, com posterior incorporação com arado de discos seguida de duas gradagens, com niveladora. Para a obtenção de massa seca de qualidade para implantação da cultura de interesse foi semeado o milheto ADR-300 (*Pennisetum americanum* L.) em 12/12/2016 na densidade de 14 kg ha⁻¹ de sementes e espaçamento 0,45 m entrelinhas. Essa cultura foi dessecada aos 60 dias após a emergência das plântulas, utilizando-se de glifosato potássico na dose de 1,3 g ha⁻¹ do ingrediente ativo. Em seguida, o milheto foi triturado proporcionando 5,1 t ha⁻¹ de palhada.

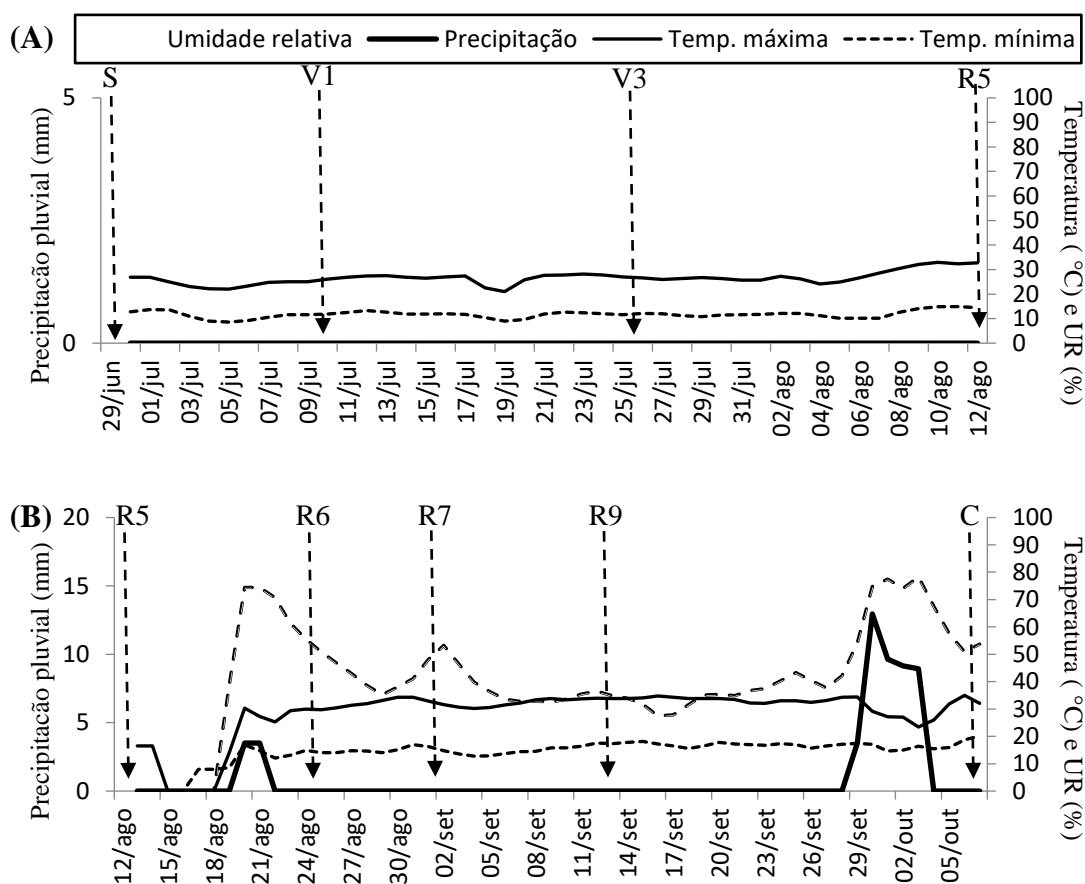


Figura 1. Precipitação pluvial (mm), temperaturas mínima e máxima (°C) e Umidade Relativa (UR) de 29 de junho a 07 de outubro de 2017. S = semeadura; V₁ = emergência das plântulas; V₃ = primeira folha composta aberta; V₄ = terceira folha trifoliolada aberta; R₅ = Pré-floração; R₆ = florescimento pleno; R₇ = Formação de vagens; R₈ = Enchimento das vagens; R₉ = Maturação e C = colheita. (A) Desenvolvimento vegetativo e (B) Desenvolvimento reprodutivo.

Os atributos químicos do solo e a granulometria foram determinados na camada de 0,00 a 0,20 m de profundidade após a dessecação do milho e previamente a semeadura do feijão. Os resultados foram pH (CaCl₂) 6,2; MO = 26 g dm⁻³; P (resina) = 46 mg dm⁻³; K⁺ = 6,6 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 46 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 17 mmol_c dm⁻³; S = 4 mg dm⁻³, B = 0,21 mg dm⁻³; Cu = 0,8 mg dm⁻³, Fe = 25 mg dm⁻³, Mn = 2,8 mg dm⁻³, Zn = 0,2 mg dm⁻³, H+Al = 18 mmol_c dm⁻³; CTC = 87,1 mmol_c dm⁻³; V = 80%, argila = 540 g kg⁻¹; silte = 230 g kg⁻¹ e areia = 230 g kg⁻¹.

3.2 Caracterização das cultivares de feijão utilizadas

Utilizaram-se cultivares de feijão de ciclo precoce (menor que 75 dias) do grupo comercial carioca: IPR Curió e IAC Imperador, ambas de porte ereto e com hábito de crescimento determinado tipo I.

A cultivar IPR Curió apresenta potencial produtivo de 3.092 kg ha⁻¹; massa de 100 grãos de 27,2 g; é medianamente resistente ao crestamento bacteriano comum, à murcha de *curtobacterium* e *fusarium*; à ferrugem, ao mosaico comum e ao oídio.

O IAC Imperador apresenta potencial produtivo de 3.313 kg ha⁻¹; massa de 100 grãos de 27,0 g; é medianamente resistente a ferrugem, à mancha angular e ao oídio; é resistente à antracnose, à murcha de *curtobacterium* e à *fusarium*.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 2x12, com quatro repetições, totalizando 96 parcelas. Como primeiro fator utilizaram-se cultivares de feijão de ciclo precoce do grupo comercial carioca: IPR Curió e IAC Imperador. O segundo fator foram os manejos no fornecimento de N (Tabela 1).

Em cada unidade experimental foram semeadas 6 linhas de feijão com comprimento de 5 m, sendo consideradas úteis as 4 linhas centrais, desprezando-se 0,50 m de cada extremidade.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos com as associações de doses de nitrogênio em cobertura para cultivares de feijão, inoculação e coinoculação.

Manejo	45 kg ha ⁻¹ de N ¹	45 kg ha ⁻¹ de N ¹	Riz sem ²	Azo sem ³	Azo foliar ⁴
Manejo 1	-	-	-	-	-
Manejo 2	x	-	-	-	-
Manejo 3	-	x	-	-	-
Manejo 4	-	-	x	-	-
Manejo 5	x	-	x	-	-
Manejo 6	-	x	x	-	-
Manejo 7	-	-	x	x	-
Manejo 8	x	-	x	x	-
Manejo 9	-	x	x	x	-
Manejo 10	-	-	x	-	x
Manejo 11	x	-	x	-	x
Manejo 12	-	x	x	-	x

¹Adubação em cobertura; ²*Rhizobium tropici* na semente; ³*Azospirillum brasilense* na semente; ⁴*Azospirillum brasilense* foliar.

3.4 Instalação e condução do experimento

A adubação de semente foi realizada utilizando 8 kg ha⁻¹ de N, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 20 kg ha⁻¹ de K₂O, totalizando 200 kg ha⁻¹ do formulado 04-20-20, baseado nas recomendações de Ambrosano et al. (1997). A sementeira manual das cultivares de feijão foi realizada no dia 29/06/2017, sob a palhada de milho. Foi utilizado o espaçamento de 0,45 m entrelinhas com 15 sementes por metro. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado com a aplicação de produtos recomendados para a cultura. A irrigação foi do tipo aspersão convencional, com turno variável de acordo com a necessidade da cultura. A lâmina de água acumulada foi de aproximadamente 550 mm.

Para os tratamentos com *Azospirillum brasilense* na semente, foram utilizados 2,4 x 10⁵ células por semente da estirpe AbV₅. Para *Azospirillum brasilense* via foliar, foram utilizadas 2,4 x 10⁵ células por planta da mesma estirpe utilizada na semente. Para aplicação foliar foi utilizado pulverizador costal de pressão constante (CO₂) equipado com barra de 2,0 m com 4 pontas de jato cônico, modelo ATR015, espaçadas de 50 cm, a uma altura de 50 cm do alvo desejado. O volume de calda foi de 150 L ha⁻¹, e pressão, 3 bar.

A adubação mineral nitrogenada de cobertura foi realizada no estágio fenológico V₄ (emissão da terceira folha trifoliada). Para os tratamentos com *Rhizobium tropici* na semente, foram utilizados 2,5 x 10⁶ células por semente⁻¹ das estirpes SEMIA 4088.

Como fonte de N em cobertura utilizou-se ureia revestida, sendo aplicada em filete contínuo a 10 cm da linha da cultura, com incorporação via lâmina de água de 20 mm por irrigação.

O florescimento pleno (R₆) das cultivares IAC Imperador e IPR Curió ocorreu aos 45 DAE e 47 DAE, respectivamente.

3.5 Avaliações

3.5.1 Índice de clorofila foliar

Para a medida do Índice de Clorofila Foliar utilizou-se do aparelho ClorofiLOG 103. As leituras foram realizadas no florescimento pleno da cultura, adotando o terceiro trifólio completamente expandido a partir do ápice, segundo indicação de Maia et al. (2017). As medições foram realizadas no período da manhã, sombreando o equipamento para evitar interferência da luz solar nas leituras. Foram escolhidas ao acaso 5 plantas na área útil da parcela, realizando uma leitura por folíolo de cada folha trifoliolada, totalizando 15 leituras por unidade experimental.

3.5.2 Área foliar

No florescimento pleno, foram coletadas três plantas (folha e caule) de cada parcela. As folhas foram destacadas e passadas no leitor de área foliar LI-COR modelo 3100, para determinação do índice de área foliar (IAF).

3.5.3 Número de trifólios por planta

Nas plantas utilizadas para determinação da área foliar, também foram quantificados o número de trifólios, e o valor foi expresso em trifólios por planta.

3.5.4 Massa seca de parte aérea

Para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), foram coletadas durante o estágio R₆, cinco plantas consecutivas na área útil de cada parcela. A parte aérea das plantas foi lavada com água destilada, secas em estufa de ventilação forçada de ar a 70°C, por 72 h e, em seguida, feitas as pesagens e a transformação dos dados para g planta⁻¹ de massa seca.

3.5.5 Nodulação

No estágio fenológico (R₆), somente nos tratamentos M1, M4, M7 e M10, em três blocos, foram coletadas três plantas inteiras (folhas, caule e raízes) de cada parcela, com o auxílio de uma pá reta, retirando-se um bloco de solo com raio de 25 cm (Figura 5). As plantas foram mantidas em sacos de papel até o momento da separação dos nódulos e raízes. As raízes foram destacadas, lavadas e os nódulos destacados, contados e cortados ao meio com o auxílio de uma lâmina, considerando o mesmo ativo, quando apresentando coloração rósea. Os dados foram transformados em número de nódulos por planta (NN), massa seca de raiz por planta (MSR), massa seca de nódulos por planta (MSN) e eficiência de nodulação (EN), expressa em %.

3.5.6 Componentes de produção

No estágio de maturidade fisiológica (R₉) foram coletadas dez plantas consecutivas para determinação dos seguintes componentes de produção: número de vagens por planta (VPP), número de grãos por vagem (GPV) e massa de cem grãos (MCG).

- Número de vagens/planta: foi determinado através da relação número total de vagens/número de plantas.
- Número médio de grãos/vagens: foi determinado através da relação número total de grãos/número total de vagens.
- Massa seca de cem grãos

3.5.7 Produtividade de grãos

A colheita foi realizada aos 89 DAE para ambos cultivares. Foram colhidas, manualmente, as plantas das duas linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 0,5m de cada extremidade. Após a secagem ao sol, foi realizada trilha mecanizada, com posterior pesagem das sementes em balança de precisão de 0,01g. A partir dos dados obtidos a produtividade foi transformada

em kg ha⁻¹, ao grau de umidade de 13% base úmida pela seguinte equação, baseada nas Regras de Análise de Sementes (Brasil, 2009).

$$P = I \times \frac{(100-U)}{100-13} \quad (1)$$

Em que,

P = massa de sementes a 13% de umidade, em kg

U = teor de água atual dos grãos, em %

I = a massa inicial da amostra

3.5.7 Massa de 100 grãos

Foi avaliada, segundo as recomendações das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), com oito subamostras de 100 sementes por tratamento. As pesagens foram feitas em balanças de precisão de 0,01g e obteve-se o peso de cem grãos por amostra.

3.5.8 Atributos qualitativos

Após à colheita, amostras dos grãos foram acondicionados em sacos de papel e armazenadas em temperatura ambiente, para a realização das avaliações dos seguintes atributos qualitativos: rendimento de peneira (RP), teor de proteína bruta (TPB), tempo de cozimento (TCoz), tempo para máxima hidratação (TMH) e relação de hidratação (RH).

a) Rendimento de peneira

Para obtenção do RP, os grãos foram classificados em tamanho pela passagem com agitação manual em conjunto de peneiras de crivos oblongos 11/64" x 3/4 (4,37 x 19,05 mm), 12/64" x 3/4 (4,76 x 19,05 mm), 13/64" x 3/4 (5,16 x 19,05 mm), 14/64" x 3/4 (5,56 x 19,05 mm), 15/64" x 3/4 (5,96 x 19,05 mm),

sendo denominadas RP11, RP12, RP13, RP14 e RP15, respectivamente. O percentual de grãos retidos foi calculado pela relação entre o peso dos grãos retidos em cada peneira e o peso da amostra total de cada repetição. O somatório do percentual de grãos retidos nas peneiras RP12, RP13, RP14 e RP15 resultou no valor para $RP \geq 12$. Após a determinação do rendimento de peneira, as amostras de grãos da peneira 13 (RP13) foram utilizadas para obtenção dos demais atributos qualitativos.

b) Produção relativa de grãos em peneira (PRGP)

Segundo metodologia proposta por Carbonell et al., (2010), foi calculado a PRGP, em que o peso dos grãos retidos em cada peneira foi submetido a uma escala de pesos/notas para a peneira 10 foi estipulado peso 1; para a peneira 11, peso 4; para a peneira 12, peso 6; para a peneira 13, peso 10; para a peneira 14, peso 10; e para a peneira 15, peso 6. Essas medidas de peso/nota foram estabelecidas em função da exigência da indústria empacotadora e do mercado consumidor.

$$PRGP = \frac{(P10 \times Peso1) + (P11 \times Peso4) + (P12 \times Peso6) + (P13 \times Peso10) + (P14 \times Peso10) + (P15 \times Peso6)}{P10 + P11 + P12 + P13 + P14 + P15}$$

Em que: PRGP: Produção Relativa de Grãos em Peneiras; P10: peso (g) retido na peneira de furo oblongo de número 10; P11: peso (g) retido na peneira de furo oblongo de número 11; P12: peso (g) retido na peneira de furo oblongo de número 12; P13: peso (g) retido na peneira de furo oblongo de número 13; P14: peso (g) retido na peneira de furo oblongo de número 14; e P15: peso (g) retido na peneira de furo oblongo de número 15.

c) Nitrogênio foliar e nos grãos

Foi determinado segundo método proposto por Carmo et al., (2000), usando uma amostra de 0,1 g de folha seca e moída, ou grão, o qual foi

transferido para tubo de digestão, ao qual foram adicionados 7 mL de mistura digestora (H_2SO_4 concentrado, água desionizada, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, SeO_2 e Na_2SO_4). Após digestão a frio por uma noite, foi feita digestão em bloco digestor, iniciando a 50°C por 30 min. A cada 30 min a temperatura foi aumentada em 50°C até atingir 300°C e, depois, 330°C , na qual permaneceu por 2 horas. Após clareamento e resfriamento do extrato (folha ou grão + mistura digestora), ele foi transferido para tubo de destilação com auxílio de 20 mL de água desionizada. Na destilação, o N-NH_4^+ produzido na digestão foi convertido a N-NH_3 com a adição de 15 mL de solução de NaOH 15 mol L^{-1} , sendo coletados, aproximadamente, 20 mL do destilado em solução de H_3BO_3 20 g L^{-1} . O N-NH_4^+ foi quantificado por titulação do destilado em titulador automático com solução diluída de H_2SO_4 .

d) Teor de proteína bruta

O TPB foi determinado pelo seguinte cálculo: $\text{TPB} = \text{N total} \times 6,25$, em que: TPB = teor de proteína bruta nos grãos (%) e N total = teor de nitrogênio nos grãos (Malavolta et al., 1997).

e) Tempo de cozimento

O tempo de cozimento foi obtido com o auxílio do cozedor de Mattson adaptado, descrito por Durigan (1979), que consta de 25 estiletes verticais, com peso de 90 g cada, terminados em ponta de $1/16''$. A ponta apoia-se nos grãos de feijão durante o cozimento, e quando o grão se encontra cozido, a ponta penetra-o, deslocando o estilete. O tempo para cozimento da amostra foi obtido quando $50\% + 1$ dos estiletes, ou seja, 13 estiletes, foram deslocados. Para realização dessa avaliação, os grãos foram previamente hidratados em água destilada por um período de 12 horas. Durante a condução do teste, a temperatura da água foi mantida a 96°C . Em função do tempo de cozimento, foi verificado o nível de resistência dos grãos ao cozimento, sendo adotada a escala de Proctor e Watts (1987).

f) Capacidade de hidratação

Para a determinação da capacidade de hidratação dos grãos, foi utilizada uma proveta com capacidade de 500 mL e precisão de 5 mL, e béqueres com capacidade de 250 mL. Em cada béquer, foi colocada uma amostra de 50 grãos de feijão, previamente selecionados, adicionando-se 200 mL de água destilada. A cada 2 horas, em um intervalo de 18 horas, foram feitas as determinações do volume de água não absorvido pelos grãos, vertendo a água do béquer para a proveta. Após a última determinação, a água em excesso foi drenada e os grãos pesados. Não foram detectados grãos com casca dura.

g) Relação de hidratação

A relação de hidratação foi determinada pela razão entre a massa final e a massa inicial dos grãos. Foi aplicado o estudo de regressão polinomial entre o tempo (horas) e a capacidade de hidratação (mL), visando determinar o tempo de máxima hidratação dos grãos de feijão.

3.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, em caso de significância, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Quando o F foi significativo para interação dos fatores, realizou-se o desdobramento, utilizando o software AgroEstat (Barbosa, Maldonado Junior, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 é apresentado o número de trifólios por planta (NTP), área foliar (AF), índice de clorofila foliar (ICF) e teores de nitrogênio foliar (N folha) e nos grãos (N grãos), nos dois cultivares de feijão, em função dos manejos de fornecimento de nitrogênio.

Tabela 2 – Número de trifólios por planta (NTP), área foliar (AF), índice de clorofila foliar (ICF) e teores de N nas folhas e nos grãos em função das cultivares (C) e manejos de fornecimento de nitrogênio (M).

Tratamentos	NTP	AF	ICF	N Folha	N Grãos
Cultivares (C)	-- n --	-- cm ² --	----	---	g kg ⁻¹ ---
IPR Curió	17,1a	925,03b	15,57a	48,65	28,12
IAC Imperador	18,0a	1028,21a	16,11a	50,92	28,72
Manejos (M) ⁽¹⁾					
Controle	16,1b	883,17b	15,95a	49,52	28,47
45 kg ha ⁻¹	17,1b	1021,80a	16,25a	53,28	28,94
90 kg ha ⁻¹	17,8b	982,73b	16,04a	49,90	27,54
Rt	16,5b	865,93b	14,95b	51,42	26,18
Rt + 45 kg ha ⁻¹	16,9b	835,80b	13,74b	48,22	31,62
Rt + 90 kg ha ⁻¹	18,8a	1057,00a	16,31a	52,40	31,37
Rt + Ab S	17,5b	939,46b	15,70a	48,14	28,50
Rt + Ab S + 45 kg ha ⁻¹	19,8a	1151,39a	15,89a	53,18	27,10
Rt + Ab S + 90 kg ha ⁻¹	20,0a	1181,90a	16,54a	51,20	28,92
Rt + Ab F	16,3b	845,82b	16,71a	48,76	27,62
Rt + Ab F + 45 kg ha ⁻¹	16,1b	907,46b	16,50a	44,90	27,56
Rt + Ab F + 90 kg ha ⁻¹	18,1a	1046,48a	15,54a	46,57	27,16
Valor-p					
C	0,0658	0,0290	0,0873	0,0503	0,4972
M	0,0128	0,0295	0,0166	0,0826	0,3114
C x M	0,0628	0,0375	0,2976	0,0971	0,1919
CV (%)	13,98	23,20	9,62	9,63	12,96

⁽¹⁾45 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹: adubação em cobertura (estádio fenológico V₄); Controle: sem N em cobertura e sem inoculação; Rt: *Rhizobium tropici* (2,5 x 10⁶ células semente⁻¹); Ab S: *Azospirillum brasilense* na semente (2,5 x 10⁵ células semente⁻¹); Ab F: *Azospirillum brasilense* via foliar (2,4 x 10⁵ células planta⁻¹). Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não são estatisticamente diferentes entre si de acordo com o teste de Scott-Knott (p ≤ 0,05).

O número de trifólios por planta foi maior para os tratamentos *Rt* + 90 kg ha⁻¹, *Rt* + Ab S + 45 kg ha⁻¹, *Rt* + Ab S + 90 kg ha⁻¹ e *Rt* + Ab F + 90 kg ha⁻¹ (Tabela 2). Para área foliar houve interação entre cultivares e manejos (Tabela 2). O cultivar IPR Curió apresentou maior área foliar quando submetido aos tratamentos 90 kg ha⁻¹ de N, *Rt* + Ab S + 90 kg ha⁻¹ e *Rt* + Ab S + 45 kg ha⁻¹ (Tabela 3). No cultivar IAC Imperador não foram verificadas diferenças estatísticas entre os manejos. Comparando cultivares, o IAC Imperador foi superior ao IPR Curió em todos os manejos de fornecimento de N. O elevado número de trifólios por planta juntamente com a maior área foliar possibilita que

a planta tenha maior aproveitamento da luz incidente. Nesse cenário, o N é nutriente chave para aumentar o índice de área foliar e, conseqüentemente, as taxas de fotossíntese (Marschner, 2012), contribuindo desta forma no processo fotossintético e, conseqüentemente, no aumento da produtividade (Fageria et al., 2006).

O índice de clorofila foliar (ICF) foi alterado de maneira significativa apenas pelos manejos, sendo que, com exceção dos tratamentos Rt e Rt + 45 kg ha⁻¹ de N, os demais apresentaram valores de ICF acima de 15, com médias estatisticamente maiores do que a dos dois tratamentos mencionados. Juntamente com o Mg, o N é componente estrutural da molécula de clorofila (Wang et al., 2014) e sua rápida absorção pelas plantas de feijão proporcionam respostas diretas nesta variável. Como o ICF é uma medida indireta de clorofila, espera-se que os tratamentos Rt e Rt + 45 kg ha⁻¹ apresentem menor teor desse pigmento do que os demais, podendo afetar negativamente a produtividade de grãos, uma vez que se espera que plantas com maior teor de clorofila apresentem maiores taxas fotossintéticas (Marschner, 2012).

Entretanto, em algumas culturas, principalmente leguminosas, o ICF não representa, com acurácia a suficiência de N nas plantas (Xiong et al., 2015), visto que a precisão da leitura é afetada por diversos fatores, como o aparelho utilizado, o horário da avaliação e o consumo de luxo de N (Blackmer; Schepers, 1995). Isso pode ser observado no presente estudo, pois o teor de N das folhas e dos grãos nas plantas dos tratamentos que apresentaram menores valores de ICF foi igual entre todos os demais manejos de fornecimento de N.

A massa de matéria seca de plantas de feijão (MSP) foi influenciada significativamente pela interação entre cultivares e manejos (Tabela 4). O cultivar IPR Curió não apresentou diferença significativa em relação aos tratamentos, enquanto que o IAC Imperador apresentou médias maiores quando adubado com fertilizante mineral em cobertura, independentemente da dose de N utilizada, e quando houve inoculação de Rt + Ab S adicionado da adubação química (45 e 90 kg ha⁻¹) (Tabela 5). O N é o nutriente base para aumentar o índice de área foliar, como discutido anteriormente e, conseqüentemente, as taxas de fotossíntese, promovendo assim maior acúmulo de matéria seca nas plantas (Marschner, 2012). A adubação nitrogenada aumenta a disponibilidade do nutriente no solo e, assim, a absorção deste pelo sistema radicular é maior,

resultando em incrementos no teor de N na parte aérea do feijão, o que resulta em maior acúmulo de MSP (Soratto et al., 2017).

Tabela 3 - Desdobramento da interação significativa entre cultivares e manejos para área foliar (AF) de feijão

Manejos ⁽¹⁾	IPR Curió	IAC Imperador
	— AF(cm ² planta ⁻¹) —	
Controle	711,63bB	1054,70aA
45 kg ha ⁻¹	991,75bA	1051,84aA
90 kg ha ⁻¹	811,33bB	1154,12aA
Rt	840,94bA	890,91aA
Rt + 45 kg ha ⁻¹	747,25bA	924,34aA
Rt + 90 kg ha ⁻¹	1109,81aA	1004,15aA
Rt + Ab S	860,25bA	1018,68aA
Rt + Ab S + 45 kg ha ⁻¹	1141,69aA	1161,09aA
Rt + Ab S + 90 kg ha ⁻¹	1278,82aA	1084,98aA
Rt + Ab F	961,99bA	729,65aA
Rt + Ab F + 45 kg ha ⁻¹	870,83bA	945,06aA
Rt + Ab F + 90 kg ha ⁻¹	774,02bB	1318,95aA

⁽¹⁾45 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹: adubação em cobertura (estádio fenológico V₄); Controle: sem N em cobertura e sem inoculação; Rt: *Rhizobium tropici* (2,5 x 10⁶ células semente⁻¹); Ab S: *Azospirillum brasilense* na semente (2,5 x 10⁵ células semente⁻¹); Ab F: *Azospirillum brasilense* via foliar (2,4 x 10⁵ células planta⁻¹). Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não são estatisticamente diferentes entre si de acordo com o teste de Scott-Knott (p ≤ 0,05).

A planta do feijão pode obter o nitrogênio necessário para seu crescimento por quatro formas, sendo elas a partir do solo, principalmente pela decomposição da matéria orgânica, pela fixação não-biológica, resultante de descargas elétricas e através dos fertilizantes nitrogenados e em função da fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N₂) (Hungria et al., 2007).

Em relação à co-inoculação, a aplicação de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) no sistema, como o Ab (*Azospirillum brasilense*), promove aumento do crescimento radicular, uma vez que estas são responsáveis pelo aumento na produção de auxinas, citocininas e giberelinas, sendo estes fitohormônios responsáveis pelo crescimento vegetal (Dartora et al., 2013). O aumento da divisão celular nos meristemas é acompanhado pelo aumento da expressão gênica responsiva à auxina (Zamioudis et al., 2013). Assim, o fornecimento deste fitohormônio durante o ciclo da planta pode favorecer aumento no sistema radicular, o que, também aumenta a capacidade

da planta em obter recursos abióticos essenciais do meio, o que permite maior fixação de carbono, e conseqüente, acúmulo de biomassa vegetal (Marschner, 2012).

O cultivar IAC Imperador apresentou maior número de vagens por planta em relação ao IPR Curió e, ainda, nota-se que em relação aos manejos, a adubação nitrogenada com 90 kg ha⁻¹ e os tratamentos de inoculação de *Rt* associado com adubação química em cobertura (45 e 90 kg ha⁻¹) e a coinoculação de *Rt* com *Ab* foliar e adubação em cobertura com 90 kg ha⁻¹ resultaram em maiores valores, com destaque para este último manejo, sendo o que proporcionou também o maior número de grãos por planta. A produtividade de grãos de feijão do cultivar IAC Imperador foi maior em relação ao IPR Curió. O número de vagens por planta é o principal componente na determinação da produtividade do feijão (Fageria; Santos, 2008), sendo de suma importância para que a cultivar alcance seu potencial produtivo, sendo de 3.892 kg ha⁻¹ para o IPR Curió e de 4.600 kg ha⁻¹ para o IAC Imperador. O número de vagens não é somente controlado geneticamente, uma vez que fatores ambientais e de manejo também influenciam esta característica (Fageria; Santos, 2008).

De acordo com Fageria et al. (2015), a produtividade do feijão depende da combinação de seus componentes de produção, sendo que para o alcance da produtividade máxima é necessário o nível máximo destes componentes, assim como seu balanço adequado. Em relação aos manejos, a produtividade seguiu a mesma tendência verificada para número de grãos por planta, sendo que a maior produtividade de grãos foi obtida na combinação de *Rt* + *Ab* F + 90 kg ha⁻¹. O fornecimento de N via adubação mineral de cobertura geralmente está associado às maiores produtividades (Picazevicz et al., 2017), conforme pode ser observado no presente estudo, sendo que juntamente com a co-inoculação de *Rt* com *Ab*, a aplicação de 90 kg ha⁻¹ do fertilizante potencializou o aumento da produtividade do feijão. Além dos benefícios do N citados anteriormente, a resposta proporcionada pela adubação nitrogenada no desenvolvimento das plantas como um todo pode também estar associada ao fato do nitrogênio estar diretamente relacionado ao processo de crescimento vegetal, participando da constituição de vários compostos do metabolismo, como proteínas, enzimas e coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e pigmentos fotossintéticos (BÜLL, 1993). Concomitante a este fato, o N ainda beneficia o crescimento do sistema

radicular, proporcionando à planta, maior capacidade de absorção de água e nutrientes (Rao et al., 1992).

A resposta positiva das plantas à coinoculação de Rt e bactérias promotoras do crescimento, como o Ab, pode ser atribuída a outros fatores que não somente a produção de substâncias promotoras do crescimento, tais como a capacidade de tolerar certos tipos de patógenos, solos com teores tóxicos de vários elementos (nutrientes ou não) (Fukami et al., 2018), alteração da atividade metabólica através de efeitos nas membranas celulares (Bashan et al., 2004; Palacios et al., 2018), aumento da tolerância da planta contra estresses ambientais, além de solubilização de fosfatos e até mesmo com a fixação biológica de N (Gray; Smith, 2005). Em contrapartida, cabe ressaltar que dependendo da forma em que as bactérias promotoras do crescimento são adicionadas ao cultivo, sua eficiência pode ser prejudicada, muitas vezes por estarem associadas livremente à planta (rizosfera e/ou interior dos tecidos vegetais), o que as tornam vulneráveis a mudanças ambientais (Gyaneshwar et al., 2002), bem como a relação entre genótipo e estirpe (Reis et al., 2000; Iniguez et al., 2004).

A aplicação foliar de Ab associado ao Rt e 90 kg ha⁻¹ de N, proporcionou resultados superiores aos demais manejos utilizados, demonstrando que o fornecimento de Ab em estádios vegetativos mais avançados como o V₄ é uma alternativa mais viável do que o seu fornecimento via semente. Apesar da aplicação do Ab no solo ser considerada melhor para o crescimento das plantas, devido predominantemente ao seu hábito rizosférico, o fornecimento via semente pode ter efeitos limitados por influências negativas na funcionalidade e sobrevivência da comunidade bacteriana no solo, principalmente por estar sujeito a fatores ambientais, como temperatura, umidade e, principalmente, competição com outros microorganismos do solo (Brandão, 1992; Moreira et al., 2010).

A associação de bactérias fixadoras de nitrogênio, como o Rt para o feijão, e promotoras de crescimento, como o Ab, é um fator de considerável interesse econômico e científico (Michiels et al., 1989). O uso do Ab ainda não é tão difundido na cultura do feijão devido ao fato de que suas respostas positivas são dependentes de múltiplos fatores, sendo estes não passíveis de controle em condições de campo, como precipitação, temperatura e presença de

microrganismos concorrentes. Além disso, para que seus efeitos sejam eficazes, é necessário que o Ab seja capaz de se estabelecer em grande número na rizosfera e tecidos radiculares das plantas inoculadas (Michiels et al., 1989; Spaepen; Vanderleyden, 2015). A coinoculação de Rt com Ab e outros microrganismos é uma das maiores fronteiras da tecnologia e talvez seja a principal área para futuras aplicações (Palacios et al., 2018). Ela vem como mais uma ferramenta a ser utilizada para potencializar os efeitos dos fertilizantes e respostas das plantas a eles ou mesmo em reduzir a oneração dos custos com fertilizantes no sistema produtivo. Os resultados obtidos com este trabalho confirmam a viabilidade da coinoculação de Rt e Ab na cultura do feijão, com consideráveis benefícios econômicos e ambientais (Fukami et al., 2018).

Tabela 4 – Matéria seca de planta (MSP), número de vagens (NVP) e de grãos (NGP) por planta e produtividade de grãos (PROD) de feijão em função das cultivares (C) e manejos de fornecimento de nitrogênio (M).

Tratamentos	MSP (g planta ⁻¹)	NVP	NGP	PROD (kg ha ⁻¹)
Cultivares (C)				
IPR Curió	6,8b	11,44b	46,58a	2483,71b
IAC Imperador	8,0a	13,08a	51,98a	2840,44a
Manejos (M)⁽¹⁾				
Controle	6,9b	10,38c	48,88b	2584,62c
45 kg ha ⁻¹	8,3a	12,50b	51,50b	2555,38c
90 kg ha ⁻¹	8,1a	14,13a	51,00b	2759,75b
Rt	7,0b	9,75c	40,38b	2544,62c
Rt + 45 kg ha ⁻¹	7,2b	13,00a	46,25b	2390,00c
Rt + 90 kg ha ⁻¹	7,8a	14,12a	41,88b	2372,25c
Rt + Ab S	7,0b	11,25b	43,38b	2171,13c
Rt + Ab S + 45 kg ha ⁻¹	8,0a	12,12b	49,00b	2674,75c
Rt + Ab S + 90 kg ha ⁻¹	8,0a	12,38b	44,88b	2891,62b
Rt + Ab F	7,0b	10,00c	53,75b	2947,50b
Rt + Ab F + 45 kg ha ⁻¹	6,7b	12,00b	51,00b	2760,38b
Rt + Ab F + 90 kg ha ⁻¹	7,2b	15,50a	69,50a	3294,88a
Valor-p				
C	<0,001	<0,001	0,0466	<0,001
M	0,0450	<0,001	0,0056	<0,001
C x M	0,0173	0,3339	0,3443	0,0587
CV (%)	15,38	16,51	26,48	15,30

⁽¹⁾45 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹: adubação em cobertura (estádio fenológico V₄); Controle: sem N em cobertura e sem inoculação; Rt: *Rhizobium tropici* (2,5 x 10⁶ células semente⁻¹); Ab S: *Azospirillum brasilense* na semente (2,5 x 10⁵ células semente⁻¹); Ab F: *Azospirillum brasilense* via foliar (2,4 x 10⁵ células planta⁻¹). Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não são estatisticamente diferentes entre si de acordo com o teste de Scott-Knott (p ≤ 0,05).

Tabela 5 - Desdobramento da interação significativa entre cultivares e manejos para massa seca de planta (MSP) de feijão.

Manejos ⁽¹⁾	Cultivares	
	IPR Curió	IAC Imperador
	— MSP (g planta ⁻¹) —	
Controle	5,9aB	7,8bA
45 kg ha ⁻¹	6,9aB	9,3aA
90 kg ha ⁻¹	6,9aB	9,6aA
Rt	6,7aB	7,25bA
Rt + 45 kg ha ⁻¹	7,1aA	7,2bA
Rt + 90 kg ha ⁻¹	7,6aA	7,9bA
Rt + Ab S	7,0aA	7,0bA
Rt + Ab S + 45 kg ha ⁻¹	6,8aB	9,2aA
Rt + Ab S + 90 kg ha ⁻¹	6,3aB	9,3aB
Rt + Ab F	7,0aA	7,0bA
Rt + Ab F + 45 kg ha ⁻¹	5,3aB	8,0bA
Rt + Ab F + 90 kg ha ⁻¹	7,0aA	7,3bA

⁽¹⁾45 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹: adubação em cobertura (estádio fenológico V₄); Controle: sem N em cobertura e sem inoculação; Rt: *Rhizobium tropici* (2,5 x 10⁶ células semente⁻¹); Ab S: *Azospirillum brasilense* na semente (2,5 x 10⁵ células semente⁻¹); Ab F: *Azospirillum brasilense* via foliar (2,4 x 10⁵ células planta⁻¹). Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não são estatisticamente diferentes entre si de acordo com o teste de Scott-Knott (p ≤ 0,05).

Relacionado a classificação dos grãos de feijão por tamanho, por meio da renda de benefício com o uso de peneiras (Tabela 6), ocorreram efeitos dos cultivares apenas para os grãos retidos nas peneiras número 12,14 e 15. Para o efeito dos manejos no fornecimento do N, não foram observadas diferenças estatísticas para variável.

Em ambos os cultivares a maior porcentagem de retenção de grãos se deu nas peneiras de número 12 e 13, totalizando 66% para IPR Curió e 70% para o IAC Imperador, sendo que na peneira 12 o IAC Imperador apresentou porcentagem estatisticamente maior, enquanto que nas peneiras de número 14 e 15 os maiores valores se deram para o IPR Curió.

A peneira de número 12 é considerada referência pelas empacotadoras de grãos, por ser tratar de um grão graúdo (Farinelli, 2003) e ao se analisar o RP_{≥2}, nos dois cultivares foi obtido valor de retenção maior do que 75%, e mesmo não diferindo estatisticamente, ambos se enquadram no valor referência tomado pelas empacotadoras, as quais oferecem uma gratificação financeira (ágil) para lotes com RP acima de 70% (Carbonell et al., 2010).

Tabela 6 - Retenção dos grãos em peneiras (RP11 a RP15), rendimento de peneira maior ou igual a 12 (RP \geq 12) e produção relativa de grãos em peneiras (PRGP) das cultivares de feijoeiro sob manejos de fornecimento de nitrogênio.

Tratamentos Cultivares (C)	RP11	RP12	RP13	RP14	RP15	RP \geq 12	PRGP
	-----%-----						-
IPR Curió	15,50	34,39 b	31,65	7,34 a	1,71 a	75,10	6,78
IAC Imperador	15,56	37,49 a	32,69	5,45 b	1,05 b	76,68	6,83
Manejos (M)⁽¹⁾							
Controle	17,13	33,55	29,98	7,78	1,97	73,29	6,69
45 kg ha ⁻¹	15,42	35,22	32,73	6,54	0,93	75,43	6,80
90 kg ha ⁻¹	16,76	35,99	30,97	5,97	1,24	74,17	6,69
Rt	16,94	36,50	29,44	6,40	1,40	73,73	6,63
Rt+45 kg ha ⁻¹	13,38	31,58	33,72	7,87	2,29	75,45	6,84
Rt+90 kg ha ⁻¹	14,85	35,80	33,42	7,54	1,39	78,16	6,99
Rt + Ab S	16,79	36,43	29,53	5,99	1,08	73,03	6,58
Rt+Ab S+45 kg ha ⁻¹	17,76	37,09	29,46	5,07	1,17	72,80	6,55
Rt+Ab S+90 kg ha ⁻¹	15,98	39,41	32,98	3,58	0,57	76,54	6,77
Rt + Ab F	16,11	43,38	27,61	4,67	1,18	76,83	6,62
Rt+Ab F+45 kg ha ⁻¹	15,09	32,37	35,47	6,93	1,50	76,29	6,96
Valor-p							
C	0,955	0,0469	0,6437	0,0396	0,0238	0,4048	0,7845
M	0,2686	0,1749	0,6046	0,5907	0,5318	0,4337	0,6308
C x M	0,6873	0,7206	0,8202	0,8779	0,9386	0,8699	0,907
CV (%)	33,44	20,85	34,04	68,98	101,11	12,21	12,33

⁽¹⁾45 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹: adubação em cobertura (estádio fenológico V₄); Controle: sem N em cobertura e sem inoculação; Rt: *Rhizobium tropici* (2,5 x 10⁶ células semente⁻¹); Ab S: *Azospirillum brasilense* na semente (2,5 x 10⁵ células semente⁻¹); Ab F: *Azospirillum brasilense* via foliar (2,4 x 10⁵ células planta⁻¹). Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não são estatisticamente diferentes entre si de acordo com o teste de Scott-Knott (p \leq 0,05).

A renda de benefício nesse cenário, se torna uma alternativa para o produtor agregar valor ao seu produto, buscando além da melhoria nas qualidades agrônômicas, como aumento da produtividade por exemplo, aumento na qualidade tecnológica do produto obtido, facilitando desta forma a melhor aceitação no mercado (Melo et al., 2007).

Ainda na Tabela 6, de posse dos resultados de PRGP, foram atribuídas notas/pesos de acordo com as exigências dos consumidores, assim como em Carbonell et al. (2010). Não foram observadas diferenças estatísticas entre os genótipos e nem entre os manejos no fornecimento do N. Vale ressaltar que os maiores pesos/notas foram dados aos grãos das peneiras 13 e 14, visto que são as peneiras que suprem a maior parte da exigência do mercado consumidor. De

acordo com Carbonell et al. (2010) valores de PRPG acima de 7,0 provavelmente terão boa aceitação de mercado. Mesmo não apresentando diferenças estatisticamente significativas, somente para o M12 (Rt + Ab F + 90 kg ha⁻¹) foi verificado valor de PRPG maior do que 7, sendo que o manejo em questão apresentou 7,52 de PRPG.

Os dados referentes ao teor de proteína bruta, tempo de cozimento, relação de hidratação e tempo médio de hidratação estão apresentados na Tabela 7. O teor de proteína bruta não foi influenciado pelos cultivares utilizados e nem pelos manejos no fornecimento do N.

Tabela 7. Teor de proteína bruta (TPB), tempo de cozimento (TC), relação de hidratação (RH) e tempo para máxima hidratação dos grãos (TMH) das cultivares de feijoeiro sob manejos de fornecimento de nitrogênio.

Tratamentos	TPB	TC	RH	TMH	
Cultivares (C)	%	min	-	h	
IPR Curió	17,57	22,42 b	1,968 b	15,06 a	
IAC Imperador	17,94	23,37 a	1,988 a	13,74 b	
Manejos (M) ⁽¹⁾				IPR Curió	IAC Imperador
Controle	17,79	22,44	1,946	14,37 bA	14,71 aA
45 kg ha ⁻¹	18,08	22,94	1,992	14,19 bA	13,48 bA
90 kg ha ⁻¹	17,21	23,65	1,985	14,28 bA	14,39 aA
Rt	16,36	24,08	1,962	14,25 bA	13,17 bA
Rt + 45 kg ha ⁻¹	19,76	22,11	1,978	14,18 bA	14,55 aA
Rt + 90 kg ha ⁻¹	19,60	22,58	1,988	15,87 aA	13,78 bB
Rt + Ab S	17,81	22,63	1,968	14,20 bA	13,17 bA
Rt + Ab S + 45 kg ha ⁻¹	16,94	22,64	1,961	15,62 aA	13,36 bB
Rt + Ab S + 90 kg ha ⁻¹	18,08	23,68	1,981	16,40 aA	13,81 bB
Rt + Ab F	17,26	23,32	1,988	16,26 aA	14,26 aB
Rt + Ab F + 45 kg ha ⁻¹	16,98	21,78	1,988	15,64 aA	13,20 bB
Rt + Ab F + 90 kg ha ⁻¹	17,22	22,85	1,998	15,47 aA	13,06 bB
Valor-p					
C	0,4976	0,0337	0,0054	<0,0001	
M	0,3119	0,6424	0,0709	0,0006	
C x M	0,1924	0,2262	0,199	<0,0001	
CV (%)	12,96	9,39	1,65	5,27	

⁽¹⁾45 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹: adubação em cobertura (estádio fenológico V₄); Controle: sem N em cobertura e sem inoculação; Rt: *Rhizobium tropici* (2,5 x 10⁶ células semente⁻¹); Ab S: *Azospirillum brasilense* na semente (2,5 x 10⁵ células semente⁻¹); Ab F: *Azospirillum brasilense* via foliar (2,4 x 10⁵ células planta⁻¹). Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não são estatisticamente diferentes entre si de acordo com o teste de Scott-Knott (p ≤ 0,05).

Florês et al. (2017), estudando doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura, também não verificou efeitos significativos dos tratamentos para o TPB, enquanto Amaral et al. (2016) ao estudar a influência das palhadas de milho em cultivo exclusivo e em consórcio com braquiária, bem como doses de N em cobertura na cultura do feijoeiro, verificaram aumento linear do teor de proteína bruta nos grãos com o aumento das doses de N. Nesse cenário nota-se que tal atributo pode ser influenciado por outros fatores além do aporte de N ao sistema, como local de cultivo, interação genótipo x ambiente, dentre outros, fazendo-se necessário mais estudos sobre tal assunto.

O tempo de cozimento apresentou diferenças significativas entre os cultivares estudados, sendo o valor médio observado para o cultivar IPR Curió de 22,42 minutos, enquanto que para o IAC Imperador foi necessário um tempo maior para cocção, de 23, 37 minutos (Tabela 7). Ambos tempos são classificados como aceitáveis, com menos de 30 minutos para cozimento (Ramalho; Abreu, 2006) e com resistência moderada à cocção, segundo a escala de Proctor e Watts (1987). Tal critério tem sido levado em consideração pelos programas de melhoramento genético, visto que materiais com menor tempo de cozimento apresentam melhor aceitação pelo mercado consumidor.

O tempo de cozimento não foi influenciado pelos manejos no fornecimento de N (Tabela 7), corroborando com os dados obtidos por Souza et al. (2016), ao estudarem adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em sucessão a sistemas de cultivo. Contudo, encontra-se na literatura diversos trabalhos com resultados distintos para tal variável (Farinelli; Lemos et al., 2010; Carmeis Filho et al., 2014; Silva et al., 2006; Amaral et al., 2016) demonstrando que a mesma pode sofrer interferência de outros fatores de além do aporte de nitrogênio, modificando o comportamento e resposta de acordo com a interação genótipo x ambiente.

Para relação de hidratação (RH) os valores diferiram apenas para cultivares, com o IPR Curió apresentando relação de 1,97 e o IAC Imperador de 1,99 (Tabela 7). Apesar de ocorrerem diferenças significativas entre os cultivares, nota-se que todos os valores obtidos se encontraram próximos a 2, ou seja, após 12 horas de hidratação/embebição os grãos são capazes de absorver quantidade de água equivalente à sua massa inicial, corroborando com os dados obtidos por Florês et al. (2017) e Farinelli e Lemos (2010).

O TMH foi influenciado significativamente tanto pelos cultivares, quanto pelos manejos (Tabela 7). Comparando cultivares, o maior tempo para hidratação foi observado para o cultivar IPR Curió, que apresentou média de 15,06 horas para máxima hidratação, enquanto o IAC Imperador apresentou TMH médio de 13,74 horas.

No desdobramento da interação entre cultivares e manejo no fornecimento do N para TMH (Tabela 7), verificou-se variação de até 1 hora entre os manejos, demonstrando desta forma que as capacidades de hidratação de grãos de feijão podem ser dependentes do cultivar, das condições de armazenamento e do ambiente (Carbonell et al., 2003; Lemos et al., 2004; Ribeiro et al., 2007).

Resultados próximos a 12 horas de TMH são considerados satisfatórios, visto que os consumidores normalmente deixam os grãos em embebição na noite anterior ao dia do consumo (Farinelli; Lemos, 2010; Mingotte et al., 2013). A capacidade de hidratação é influenciada pelo ambiente, cultivar e tempo de armazenamento (Carbonell et al., 2003; Lemos et al., 2004; Ribeiro et al., 2007).

Tabela 8. Número de nódulos por planta (NNP), massa seca de nódulos por planta (MSNP), massa seca de raiz por planta (MSRP) e eficiência de nodulação das cultivares de feijoeiro sob manejos de fornecimento de nitrogênio.

Tratamentos	NNP	MSNP	MSRP	Eficiência		Produtividade	
Cultivares (C)	(n° planta ⁻¹)	-(g planta ⁻¹)-		(%)		(kg ha ⁻¹)	
IPR Curió	27,1 a	0,14	0,30 b	0,89 a		2483,71b	
IAC Imperador	15,2 b	0,11	0,63 a	0,58 b		2840,44a	
Manejos (M) ⁽¹⁾				IPR Curió	IAC Imperador	IPR Curió	IAC Imperador
Controle	28,1	0,13	0,42	0,83 aA	0,93 aA	2724aA	2445bA
Rt	23,7	0,13	0,41	0,90 aA	0,90 aA	2013bB	3075aA
Rt + Ab S	13,5	0,06	0,46	0,93 aA	0,00 cB	2121bA	2430bA
Rt + Ab F	18,7	0,18	0,58	0,90 aA	0,50 bB	2697aA	3197aA
<i>Valor-p</i>							
C	0,0363	0,3080	0,0453	0,0007		0,0041	
M	0,2373	0,0724	0,8405	0,0023		0,0090	
C x M	0,4337	0,1467	0,4910	0,0005		0,0089	
CV (%)	60,47	52,91	78,46	24,44		13,49	

⁽¹⁾45 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹: adubação em cobertura (estádio fenológico V₄); Controle: sem N em cobertura e sem inoculação; Rt: *Rhizobium tropici* (2,5 x 10⁶ células semente⁻¹); Ab S: *Azospirillum brasilense* na semente (2,5 x 10⁵ células semente⁻¹); Ab F: *Azospirillum brasilense* via foliar (2,4 x 10⁵ células planta⁻¹). Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não são estatisticamente diferentes entre si de acordo com o teste de Scott-Knott (p ≤ 0,05).

Para número de nódulos por planta (NNP) verificou-se efeitos significativos somente para cultivares (Tabela 8), onde o IPR Curió apresentou 44% mais nódulos que o IAC Imperador, sendo 27 nódulos por planta para o IPR Curió contra 15,2 para o IAC Imperador. Vale salientar que todos os tratamentos, inclusive os que não receberam a inoculação, apresentaram presença de nódulos, indicando a presença de estirpes nativas no solo. Para massa seca de nódulos por planta (MSNP), não foram verificados efeitos significativos dos tratamentos, contudo observou-se que no tratamento com inoculação de *R. tropici* na semente com a aplicação de *A. brasilense* via aplicação foliar, houve incremento de 27% na massa seca dos nódulos quando comparado ao tratamento controle (sem inoculação) e ao tratamento somente com a inoculação de *R. tropici* via semente.

Yadegari et al. (2010) verificaram que a co-inoculação com PGPR (*Rhizobium* + *Pseudomonas fluorescens* P-93) promoveu incrementos no NN e na MSN quando comparada ao tratamento com aplicação isolada de *Rhizobium*. Mercante et al. (1999) demonstraram que a inoculação com o produto comercial promoveu efeito positivo e significativo na nodulação das plantas para todas as cultivares de feijoeiro-comum avaliadas, demonstrando elevada eficiência e competitividade das estirpes de *Rhizobium tropici* introduzidas, em relação à população nativa do solo.

Para massa seca de raízes (MSRP), só foram observados efeitos dos cultivares, sem diferenças estatísticas entre os manejos no fornecimento do N. O cultivar IAC Imperador apresentou massa de raízes em torno de 50% maior que o IPR Curió, fator esse que pode explicar as maiores produtividades obtidas neste cultivar, visto que um sistema radicular com maior volume pode auxiliar na melhoria da absorção de nutrientes pela planta, proporcionando assim maior capacidade da planta demonstrar seu potencial produtivo.

Outro fator que precisa ser levado em consideração no estudo da nodulação em feijoeiro, é a viabilidade dos nódulos presentes nas raízes. Alguns cultivares podem apresentar uma menor quantidade de nódulos, contudo, sendo viáveis e ativos, enquanto alguns materiais podem ter maior quantidade de nódulos, sem ser eficientes (Mercante et al., 1992). Nesse sentido, observa-se na Tabela 8, que houve efeitos tanto das cultivares quando dos manejos na eficiência da nodulação e que o cultivar IPR Curió apresentou maior quantidade

de nódulos ativos, sendo essa eficiência 31% maior que a observada para o IAC Imperador. As eficiências observadas para o IPR Curió serem de modo geral, maiores que para o IAC Imperador, tal fato não foi evidenciado nas produtividades obtidas, uma vez que as maiores produtividades foram observadas no cultivar IAC Imperador, quando inoculado com *R. tropici* na semente e com aplicação foliar de *A. brasilense*, mesmo apresentando 40% menos nódulos ativos.

5 CONCLUSÕES

O feijão apresenta elevada responsividade à co-inoculação com *Azospirillum brasilense*, seja por aplicação nas sementes ou foliar.

O cultivar IAC Imperador apresentou área foliar, matéria seca de plantas, número de vagens por planta e produtividade de grãos maior, em relação ao cultivar IPR Curió.

A maior produtividade de grãos do feijão (3.295 kg ha^{-1}) foi obtida no tratamento com inoculação das sementes com *Rhizobium tropici*, co-inoculação foliar com *Azospirillum brasilense* e aplicação de adubo nitrogenado na dose de 90 kg ha^{-1} de N.

A utilização da técnica de co-inoculação com a aplicação foliar de *A. brasilense* + aplicação de adubo nitrogenado na dose de 90 kg ha^{-1} de N em cobertura apresentou produtividade 27% (710 kg) maior quando comparado ao tratamento controle sem adubação nitrogenada.

A inoculação com *R. tropici* + *A. brasilense* aplicado via foliar, sem o aporte de nitrogênio em cobertura apresentou produtividade equivalente a aplicação de 90 kg ha^{-1} de N em cobertura.

6 REFERÊNCIAS

Alvares CA, Stape, J L, Sentelhas PC, de Moraes G, Leonardo J, Sparovek G (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711-728.

Amaral CB, Pinto CC, Flôres JA, Mingotte FLC, Lemos LB, Fornasieri Filho D (2016) Produtividade e qualidade do feijoeiro cultivado sobre palhadas de gramíneas e adubado com nitrogênio em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51:1602-1609.

Ambrosano EJ, Wutke EB, Bulisani EAE, Cantarella H. FEIJÃO. IN: Raij B. Van; Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (Eds), Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. p. 194-195, 1997. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas.

Andraus MP. Nodulação de cultivares de feijoeiro-comum influenciada por diferentes ciclos de crescimento. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Água)-Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Araújo JLS, Stradiotto R, Franco AA (1993). Seleção de cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) para fixação biológica de nitrogênio em condições de temperaturas elevadas. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4., Londrina, 1993. **Resumos**. Londrina: IAPAR, p.136.

Araujo RS (1994). Fixação biológica do nitrogênio em feijão. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Ed.) *Microorganismos de importância agrícola*. Brasília: Embrapa-SP, 236 p.

Araujo FF, Munhoz VER, Hungria M(1996). Início da nodulação em sete cultivares de feijoeiro-comum inoculadas com duas estirpes de *Rhizobium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 31:435-443.

Bárbaro IM, Brancalião SR, Ticelli M, Miguel FB, Silva JAA (2008). **Técnica alternativa**: co-inoculação de soja com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* visando incremento e produtividade.

Barbosa JC, Maldonado Junior W. **AgroEstat - Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônomicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015.

Bashan Y, Bashan LEB (2005). Bacteria/Plant Growth-Promoting. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of soils in the environment**. Oxford: Elsevier, 1:103-115.

Bashan Y, Holguin G (1997). Azospirillum - plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, 43:103-121.

Blackmer TM, Schepers JS (1995). Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 25:1791-1800.

Brandão EM (1992). Os componentes da comunidade microbiana do solo. *Microbiologia do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo*, p. 1-15.

Brasil (2009).Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399 p.

Burdman S, Volpin H, Kigel J, Kapulnik Y, Okon Y (1996). Promotion of nod Gene Inducers and Nodulation in Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Roots inoculated with *Azospirillum brasilense* Cd. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, 62:3030-3033.

Burdman S, Hamaoui B, Okon Y (2000).Improvement of legume crop yields by co-inoculation with *Azospirillum* and *Rhizobium*. **The Otto Warburg Center for Agricultural Biotechnology**. Israel: The Hebrew University of Jerusalem.

Carbonell SAM, Chiorato AF, Gonçalves JGR, Perina EF, Carvalho CRL. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, v, 40, p. 2067-2073, 2010.

Carmeis Filho ACA, Cunha TPL, Mingotte FLC, Amaral CB, Lemos LB, Fornasieri Filho D (2014) Adubação nitrogenada no feijoeiro após palhada de milho e braquiária no plantio direto. **Revista Caatinga** 27:66-75.

Carmo CAFS, Araújo WS, Bernardi ACC, Saldanha MFC (2000).**Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 41p. (Circular técnica, 6)

Cassini STA, Franco MC (2006). Fixação biológica de nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. In: Vieira C, Paula Júnior J, Borém A. (Eds.). **Feijão**. Viçosa: UFV, 43-170.

Dalgaard T, Olesen JE, Petersen SO, Petersen BM, Jørgensen U, Kristensen T, Hutchings NJ, Gyldenkærn S, Hermansen JE (2011).Developments in greenhouse gas emissions and net energy use in Danish agriculture–how to achieve substantial CO2 reductions? **Environ. Pollut.** 159:3193–3203.

Dartora J, Guimarães VF, Marini D, Sander G (2013). Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.17.

Döbereiner J, Duque FF(1980). Contribuição da pesquisa em fixação biológica do nitrogênio para o desenvolvimento do Brasil. In: CURSO SOBRE FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO, 3., Rio de Janeiro, 23.

Dodd IC, Zinovkina NY, Safronova VI (2010). Rhizobacterial mediation of plant hormone status. **Annals of Applied Biology**, Chichester, 157:361–379.

Durigan JF (1979) **Influência do tempo e das condições de estocagem sobre as propriedades químicas, físico-mecânicas e nutricionais do feijão mulatinho (Phaseolus vulgaris L.)**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp - Campinas.

Embrapa Arroz e Feijão (2015). Dados de conjuntura da produção de feijão (Phaseolus vulgaris L.) no Brasil 1985–2013. URL: <http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm> (Accessed 12.10.17).

Fancelli AL, Dourado Neto D (2007). **Produção de feijão**. 2. ed. Piracicaba: Livroceres, 386.

Fageria NK, Stone LF, Santos AB, Carvalho MCS (2015). Nutrição mineral do feijoeiro. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão.

Fageria NK, Ferreira EPB, Melo LC, Knupp AM (2014). Genotypic Differences in dry bean yield and yield components as influenced by nitrogen fertilization and rhizobia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45:1583-1604.

Farinelli R (2003). Resposta do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) à adubação nitrogenada de cobertura em dois sistemas de manejo de solo. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Farinelli R, Lemos LB (2010). Produtividade, eficiência agrônômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. *Bragantia*, Campinas, 69:165-172.

Ferlini HA (2006). **Co-Inoculación en Soja (*Glycine max*) con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense***. [S.l.: s.n.] Disponível em: <<http://www.buscagro.com/biblioteca/FerliniMicheli/CoinoculacionSoja.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2019.

Flôres JA, Amaral CB, Pinto CC, Mingotte FLC, Lemos LB (2017) Agronomic and qualitative traits of common bean as a function of the straw and nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 47:195-201.

Fukami J, De La Osa C, Ollero FJ, Megías M, Hungria M (2018). Co-inoculation of maize with *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium tropici* as a strategy to mitigate salinity stress. **Functional Plant Biology**, 45:328-339.

Grassi Filho H (2010). Funções do nitrogênio e enxofre nas plantas. In: Vale D W, Sousa JI, Prado RM. **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Jaboticabal: FCAV, 187-197.

Gray EJ, Smith DL (2005). Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes. **Soil Biology and Biochemistry**, 37:395-412.

Guss A, Döberelner J (1972). Efeito da adubação nitrogenada e da temperatura do solo na fixação do nitrogênio no feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 7:87-92.

Gyaneshwar P, Kumar GN, Parekh LJ, Poole PS (2002). Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and soil**, 245:83-93.

Hartmann A, Baldam JI (2006). The genus *Azospirillum*. In: DWORKIN, M.; FALKOW, S.; ROSENBERG, E.; SCHLEIFER, K. H.; STACKEBRANDT, E. (Eds.). **The Prokaryotes**. New York: Springer, 115-140.

Hungria M, Mendes IC, Mercante FM (2013). **Tecnologia de fixação biológica de nitrogênio com feijoeiro**: viabilidade em pequenas propriedades familiares e em propriedades tecnificadas. Londrina: Embrapa Soja, 32 (Embrapa Soja. Documentos, 338).

Hungria M, Neves MCP (1986). Interação entre cultivares de *Phaseolus vulgaris* e estirpes de *Rhizobium* na fixação e transporte do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 21:127-140.

Hungria M, Vargas MAT, Araujo RS (1997). Fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro. In: Vargas MAT, Hungria M, eds. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina, Embrapa-CPAC, 189-294.

Hungria M, Vargas MAT (2000). Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, 65:151-164.

Hungria M, Campo RJ, MENDES IC (2003). Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium tropici* strains. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, 39:88-93.

Hungria M, Campo RJ, Mendes IC (2007). A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: EMBRAPA-SOJA, p.80 (Documentos, 283).

Hungria M (2011). **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 36 (Embrapa Soja. Documentos, 325).

Iniguez AL, Dong Y, Triplett E W (2004). Nitrogen fixation in wheat provided by *Klebsiella pneumoniae* 342. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, 17:1078-1085.

Jones AL (1999). **Phaseolus Bean: Post-harvest Operations**. Roma, Italia: Editora Centro Internacional de agricultura tropical (CIAT), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 24.

Lago FJ, Furtini Neto AE, Furtini IV, Ramalho MAP, Horta IMF (2009). Frações nitrogenadas e eficiência nutricional em linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras,33:440-447.

Lemos BL, Mingotte FLC, Farinelli R (2015). Cultivares. In: Arf O, Lemos LB, Soratto RS, Ferrari S (Eds). Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris*. Botucatu: FEPAF, p. 181-207.

Marschner P (2012). Rhizosphere biology. In Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition) ,369-388.

Martínez-Romero E, Segovia, L, Mercante FM, Franco AA, Graham P, Pardo MA (1991). *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. trees. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Iowa, 41:417-426.

MELO LC et al (2007). Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:715-723.

Mercante FM, Teixeira MG, Abboud ACS, Franco AA (1999). Avanços biotecnológicos na cultura do feijoeiro sob condições simbióticas. **R. Univ. Rural: Sér. Ciênc. Vida**, 21:127-146.

Michiels K, Vanderleyden J, Van Gool A (1989). Azospirillum—plant root associations: a review. **Biology and Fertility of Soils**, 8:356-368.

Moreira, FMS, Siqueira JO (2006). **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 729.

Moreira FMDS, Da Silva K, Nóbrega RSA, De Carvalho F (2010). Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 74, 2010.

Palacios OA, Lopez BR, Bashan Y, De-Bashan L E (2018). Early Changes in Nutritional Conditions Affect Formation of Synthetic Mutualism Between *Chlorella sorokiniana* and the Bacterium *Azospirillum brasilense*. **Microbial ecology**, 1-13, 2018.

Pelegrin R, Mercante FM, Miyuki I, Otsubo N, Otsubo AA (2009). Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 33:219-226.

Picazevicz AA, Kusdra JF, Moreno ADL (2017). Maize growth in response to *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium tropici*, *molybdenum* and nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 21: 623-627.

Proctor JR, Watts BM (1987). Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, 20:9-14.

Ramalho MAP, Abreu AFB (2006) Cultivares. In.: Vieira C, Paula Junior TJP, Borém A (Eds.) **Feijão**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 415-436.

Rao ACS, Smith, JL, Parr JF, Papendick RI (1992). Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. **Fertilizer Research**, 33:209-217.

Reis VM, Baldani JI, Baldani VLD, Dobereiner J. (2000). Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. **Critical Reviews in Plant Science**, 19: 227-247.

Reis Júnior FB, Mendes IC, Reis VM, Hungria M (2011). Fixação biológica de nitrogênio: uma revolução na agricultura. In: Faleiro FG, Andrade, S. R. M.; REIS JÚNIOR, F. B. (Eds.). **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 247-281.

Ribaudo CM, Krumpholz EM, Cassán FD, Bottini R, Cantore ML, Curá JA (2006). *Azospirillum* sp. Promotes Root Hair Development in Tomato Plants through a Mechanism that Involves Ethylene. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.l.], v.25, n.2, p.175-185.

Santos AB, Fageria NK, Silva OF & Melo MLB (2003). Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1265-1271.

Sharma R, Paliwala JS, Choprab P, Dograa D, Pooniyac, Bisariaa VS, Swarnalakshmi K, Sharma S (2017). Survival, efficacy and rhizospheric effects of bacterial inoculants on *Cajanus cajan*. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 240, p. 244 – 252.

Silva CC da (1998). **Influência de sistemas agrícolas em características do solo e na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada em cobertura**. 1998. 116 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Silva TRB, Lemos LB, Tavares CA (2006) Produtividade e característica tecnológica de grãos em feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41:739-745.

Silveira PM Da, Braz AJBP, Agostinho Dirceu Didonet, AD (2003). Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 38:1083-1087.

Soratto RP, Fernandes AM, Santos LA, Job ALG (2013). Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I - Macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 37:1027-1042.

Soratto RP, Catuchi TA, Souza EDFCD, Garcia JLN (2017). Plant Density and Nitrogen Fertilization on Common Bean Nutrition and Yield. **Revista Caatinga**, 30:670-678.

Souza JEB, Ferreira EPB (2017). Improving sustainability of common bean production systems by co-inoculating rhizobia and azospirilla. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237:250-257.

Souza SS (2016) **Doses de nitrogênio em cobertura no feijoeiro de inverno em sucessão a sistemas de cultivo com milho exclusivo e consorciado com braquiária e com crotalária**. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal). Unesp - Jaboticabal.

Spaepen S, Vanderleyden J (2015). Auxin signaling in *Azospirillum brasilense*: a proteome analysis. **Biological nitrogen fixation**, 937-940.

Taiz L, Zeiger E (2013). **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 918.

Xiong D, Chen J, Yu T, Gao W, Ling X, Li Y, Huang J (2015). SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. **Scientific reports**, 5:13389.

Yadegari M, Rahmani HÁ, Noormohammadi G, Ayneband A (2010). Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 33:1733-1743.

Yokoyama LP (2002). Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L.F. Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 249-292.

Zamioudis C, Mastranesti P, Dhonukshe P, Blilou I, Pieterse CM (2013). Unraveling root developmental programs initiated by beneficial *Pseudomonas* bacteria. **Plant physiology**, p-112.

APÊNDICE

Apêndice A. Dados climáticos diários do experimento

Tabela 1A. Valores diários de temperatura máxima ($T_{MÁX}$), temperatura mínima ($T_{MÍN}$) e precipitação pluviométrica (P) nos meses de julho e agosto de 2017. Fonte: Estação Agroclimatológica do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/Unesp – Câmpus de Jaboticabal/SP.

Data	Julho			Agosto		
	$T_{MÁX}$	$T_{MÍN}$	P	$T_{MÁX}$	$T_{MÍN}$	P
	°C			°C		
		mm			mm	
1	26,4	15,1	0,0	26,1	12,4	0,0
2	23,4	12,0	0,0	28,3	11,8	0,0
3	22,8	9,8	0,0	24,1	12,5	0,0
4	21,6	8,1	0,0	24,1	10,0	0,0
5	22,5	9,1	0,0	25,6	10,4	0,0
6	24,1	9,3	0,0	27,5	9,8	0,0
7	25,4	11,9	0,0	29,7	10,6	0,0
8	24,6	11,4	0,0	31,2	14,4	0,0
9	25,6	11,7	0,0	33,0	13,7	0,0
10	26,5	11,9	0,0	32,9	15,9	0,0
11	27,2	13,2	0,0	31,8	13,9	0,0
12	27,6	13,4	0,0	33,6	15,1	0,0
13	27,5	11,8	0,0	33,0	17,1	0,0
14	26,2	11,9	0,0	28,9	18,3	0,0
15	26,7	11,8	0,0	26,3	17,1	0,0
16	27,4	12,1	0,0	23,5	16,3	3,8
17	27,5	11,4	0,0	18,5	16,0	5,1
18	17,5	9,5	0,0	20,4	16,3	1,2
19	24,5	8,6	0,0	28,1	17,0	0,0
20	27,2	10,6	0,0	32,5	16,7	7
21	28,0	13,2	0,0	22,0	12,9	0,0
22	27,6	12,0	0,0	28,5	11,3	0,0
23	28,8	12,7	0,0	30,3	14,9	0,0
24	26,7	11,2	0,0	29,7	14,8	0,0
25	27,2	11,9	0,0	29,8	13,4	0,0
26	26,1	12,3	0,0	31,1	14,7	0,0
27	25,9	11,7	0,0	31,6	14,7	0,0
28	26,9	10,6	0,0	32,4	14,5	0,0
29	26,5	10,9	0,0	33,8	13,7	0,0
30	26,1	12,1	0,0	34,8	16,4	0,0
31	25,4	11,1	0,0	33,7	17,5	0,0
Média	25,7	11,4	0,0	28,9	14,3	17,1

Tabela 2A. Valores diários de temperatura máxima ($T_{MÁX}$), temperatura mínima ($T_{MÍN}$) e precipitação pluviométrica (P) nos meses de setembro e outubro de 2017. Fonte: Estação Agroclimatológica do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/Unesp – Câmpus de Jaboticabal/SP.

Data	Setembro			Outubro		
	$T_{MÁX}$	$T_{MÍN}$	P	$T_{MÁX}$	$T_{MÍN}$	P
	°C			°C		
		mm			mm	
1	32,1	15,1	0,0	30,5	13,4	0,4
2	31,0	14,5	0,0	23,5	16,6	17,9
3	30,3	12,6	0,0	23,3	16,2	0,0
4	30,1	12,9	0,0	28,7	14,8	0,0
5	31,1	12,9	0,0	34,9	17,1	0,0
6	31,8	14,5	0,0	35,1	20,3	0,0
7	32,6	14,4	0,0	29,1	20,0	0,0
8	34,1	14,7	0,0	33,9	18	0,0
9	33,6	16,9	0,0	35,7	19,5	0,0
10	33,1	14,8	0,0	37,0	19,5	0,0
11	34,4	17,9	0,0	36,7	20,5	6,7
12	33,6	17,3	0,0	37,8	20,8	0,0
13	34,0	17,4	0,0	37,2	22,0	0,0
14	33,6	18,1	0,0	37,3	21,9	0,0
15	34,6	18,1	0,0	35,2	19,2	0,0
16	34,9	16,4	0,0	34,7	16,7	0,0
17	33,6	16,5	0,0	34,9	18,5	0,0
18	34,0	14,7	0,0	35,0	19,6	0,0
19	33,6	18,3	0,0	36,4	19,3	0,0
20	34,0	17,4	0,0	36,0	20,0	0,0
21	32,9	17,1	0,0	32,2	21,4	5,7
22	31,4	16,8	0,0	24,2	18,1	6,8
23	32,8	16,6	0,0	25,4	17,9	0,0
24	33,3	18,0	0,0	32,7	16,1	0,0
25	32,7	15,9	0,0	35,5	17,8	0,0
26	32,2	15,5	0,0	-	-	-
27	34,1	17,6	0,0	-	-	-
28	34,4	16,6	0,0	-	-	-
29	34,4	18,3	7,0	-	-	-
30	23,8	15,8	18,9	-	-	-
Média	32,7	16,1	25,9	32,9	18,6	37,5