



TATIANE CRISTINA BARBOSA CÂNDIDO

**RIZOBACTÉRIAS ALTERAM O FENÓTIPO DAS PLANTAS
AFETANDO AS INTERAÇÕES PLANTA-HERBÍVORO?**

**LAVRAS – MG
2020**

TATIANE CRISTINA BARBOSA CÂNDIDO

**RIZOBACTÉRIAS ALTERAM O FENÓTIPO DAS PLANTAS AFETANDO AS
INTERAÇÕES PLANTA-HERBÍVORO?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor
Orientadora

**LAVRAS – MG
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Cândido, Tatiane Cristina Barbosa.

Rizobactérias alteram o fenótipo das plantas afetando as interações planta-herbívoro? / Tatiane Cristina Barbosa Cândido. - 2020.

65 p. : il.

Orientador(a): Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Rizobactérias fixadoras de N. 2. Defesas induzidas. 3. Insetos herbívoros. I. Peñaflor, Maria Fernanda Gomes Villalba. II. Título.

TATIANE CRISTINA BARBOSA CÂNDIDO

**RIZOBACTÉRIAS ALTERAM O FENÓTIPO DAS PLANTAS AFETANDO AS
INTERAÇÕES PLANTA-HERBÍVORO?**

**DO RHIZOBACTERIA ALTER THE PHENOTYPE OF PLANTS AFFECTING
PLANT-HERBIVORE INTERACTIONS?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 10 de fevereiro de 2020.

Dr. Lucas Del Bianco Faria UFLA
Dr. Denis S. Willett Cornell University

Profa. Dra. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor
Orientadora

**LAVRAS – MG
2020**

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada da Universidade Federal de Lavras pela oportunidade e pelos ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão da minha bolsa de estudos.

Ao Laboratório de Microbiologia Agrícola da Universidade Federal de Lavras, coordenado pela professora Dra. Fátima Maria de Souza Moreira, por ter cedido a rizobactéria CIAT 899 utilizada em todo trabalho.

A Deus, por ter ouvido todas as minhas orações e ter derrubado todas as muralhas no meu caminho.

À minha mãe, Roselí, por ser minha base e me apoiar em todas as decisões. Por me ensinar a ser forte e lutar pelo quero e por me incentivar a superar os desafios impostos pela vida.

As minhas irmãs e meus sobrinhos, Maví, Taíza, Diogo e Aninha, por estarem sempre ao meu lado, me ajudando a vencer as dificuldades do cotidiano e sempre trazendo alegria para minha vida. Principalmente a minha irmã mais velha, Maví, que sempre foi um exemplo para mim, em que eu me espelhei e me inspirei a sempre buscar mais conhecimento para me tornar uma profissional e pessoa melhor.

À minha querida orientadora, Dra. Maria Fernanda Gomes Peñaflor, por ser essa pessoa incrível, por ter me acolhido tão bem e me mostrado que sou capaz, independente das dificuldades. Sempre ensinando com leveza e paciência. Muito obrigada por essa oportunidade e por ter me ajudado a superar esses dois anos intensos.

Ao João Pedro, por ser companheiro em todos os momentos, foi mais que meu braço direito nesse momento. Por além de me apoiar em todos os momentos, inclusive nos mais difíceis, me ajudar de todas as maneiras a superar todos eles. Não tenho palavras para expressar minha gratidão, você foi essencial nessa caminhada e realizou esse sonho junto comigo.

Ao meu pai, William, por apoiar minha decisão de continuar no meio acadêmico e por todo auxílio.

Aos meus avós, Wiston e Dica (in memoriam), por me incentivarem e por me passarem o sentimento de segurança em todos os momentos, sendo um dos pilares da minha vida sempre. Em especial a minha amada vó, por viver o início desse sonho comigo, por ter se orgulhado de mim em mais essa fase, infelizmente não foi possível ter a sua presença na

concretização desse sonho, mas a gratidão por todo amor e paciência durante esses anos ficaram marcados.

Ao LEQIIP, por me acolherem tão bem, por todo auxílio e pelos ensinamentos. A Lara, pela ajuda nos mutirões e pelas dicas entomológicas. A Paty, pelos ensinamentos e auxílios com os tripes. A Lívia, por todas as dicas de leitura, pelos ensinamentos e por ter me ajudado com o experimento de Fénois totais. A Manu, pelo auxílio durante toda a realização deste trabalho, principalmente na identificação dos insetos. Ao Gabriel, por sempre estar disponível para me ajudar, inclusive nos trabalhos pesados, principalmente no campo. Agradeço também a Marina e Bia, por terem me auxiliado quando precisei.

Ao Ramom, por ser mais que um amigo no laboratório, por ter feito desses anos mais leves, cheio de risada e por ser meu apoio nos experimentos que davam errado, por todos os ensinamentos com os feijões e bactérias. Sem você e seu apoio eu não teria superado todas as dificuldades dessa maneira.

A Fer, que além de parceira de laboratório, se tornou uma grade amiga. Só tenho a agradecer por tudo, por me apoiar nas questões acadêmicas e pessoais. Por todos os ensinamentos, inclusive os de vida e por me ajudar tanto nessa fase. Você me ajudou a resistir todas as pressões e sempre me mostrou o lado bom de todas as coisas.

Ao Marvim, por ter se tornado um amigo além das paredes do laboratório, por ter sido o melhor conselheiro e consultor quando eu precisei. Você é excelente! Não sei como te agradecer pela ajuda em campo e principalmente com a estatística. Obrigada também por todas as risadas.

À Ellen, por ser a melhor secretária de todas, uma pessoa maravilhosa. Por ter cuidado de mim com tanto carinho, paciência e dedicação, sempre me auxiliando quando eu precisei.

À toda minha família, pelo apoio e orações. Principalmente aos meus tios Marquinho e Suely e aos meus primos Giuvaine, Juli, Anderson, Paulo, Mari, Renzo, Geórgia, Giuliano, Bela e Regina e. Agradeço também a Suellen que é feito irmã e minha afilhada Giovanna, por estarem presentes nesse momento da minha vida.

À Tia Rosana (in memoriam) que foi essencial no início desse sonho, que independente de todas as dificuldades, fez de tudo para me convencer a participar do processo seletivo do mestrado.

À minha amiga/irmã, Mara, que sempre me apoiou em tudo e sempre se fez presente em todos os momentos importantes da minha vida.

Aos meus queridos amigos, Gui e Ricardo, que apesar de não conversarmos todos os dias, sempre se alegram com minhas conquistas e torcem por mim.

Aos meus Padrinhos, Rogério e Edwirges, que são um exemplo para mim, pelo apoio e conselhos. Também aos seus filhos, Luíza, Bia, Carol e Matheus, pelos momentos de desconcentração.

Aos pets queridos, que estiveram comigo nessa fase e que trouxeram alegrias nos dias mais difíceis, Zoe, Minnie, Tequila e Pretinha.

A caminhada durante esses dois anos foi longa e cheia de desafios acadêmicos e pessoais (principalmente a perda de pessoas muito queridas), seu eu consegui amadurecer e ter força para lutar e realizar esse sonho foi graças a todos vocês. **A todos, minha gratidão!**

RESUMO

A associação das plantas com rizobactérias pode contribuir para o aumento do crescimento, reprodução e resistência a insetos e patógenos, devido à alteração nos hormônios e absorção mais eficiente de nutrientes, principalmente a fixação de nitrogênio. Essa interação também traz benefícios para os microrganismos, além de um local propício para o desenvolvimento e formação de colônias, as plantas fornecem carbono reduzido e outros metabólitos para esses organismos. Os efeitos dessa simbiose podem ser alterados por aspectos bióticos, como espécie e linhagem da rizobactéria. Algumas linhagens tendem a ser menos competitivas e isso pode reduzir a eficácia durante a colonização. Os aspectos abióticos também devem ser considerados, pois as adversidades climáticas no campo podem prejudicar a estabilidade das colônias. Diante desse cenário, o objetivo desse estudo foi avaliar se a inoculação da planta de feijão (*Phaseolus vulgaris*) pela rizobactéria *Rhizobium tropici* (CIAT 899) causa alterações no crescimento, reprodução e resistência da planta a insetos herbívoros. Além disso, investigamos se os fenóis, importante grupo químico que atua nas defesas das plantas, seriam alterados pela associação com a rizobactéria. Foram realizados dois plantios para conduzir os experimentos, um na estação seca, de junho a setembro, e outro na estação chuvosa, de setembro a dezembro. Os ensaios continham plantas dos tratamentos controle (sem inoculação) e *Rhizobium* (inoculadas). Avaliamos parâmetros relacionados ao crescimento (biomassa radicular e parte aérea, altura e altura com gavinha) e reprodução (data de abertura das flores, número de flores, número de vagens e peso dos grãos) das plantas, mas a maior parte deles não foi alterada em função da inoculação por *Rhizobium* nos dois plantios. Apenas o número de flores de plantas inoculadas foi maior que o das plantas não inoculadas na estação seca. Foi avaliada a abundância e composição da comunidade de insetos herbívoros nas plantas dos dois tratamentos e não houve diferença significativa entre eles nas duas estações. Apesar disso, na estação seca, foi observada uma tendência de maior resistência das plantas inoculadas, que foram 2 vezes menos visitadas por herbívoros do que as plantas não inoculadas. A análise de fenóis totais constitutivos (anteriormente à transferência das plantas para o campo) mostrou que as plantas inoculadas tiveram o conteúdo de fenóis reduzido em relação às plantas não inoculadas. Porém, após a exposição a estresses abióticos e bióticos do campo, essa diferença nos níveis de fenóis totais não foi mais observada. Ao contrário da nossa hipótese, na qual os efeitos da inoculação seriam positivos no crescimento, reprodução e resistência da planta de feijão a insetos, os resultados indicam um efeito neutro de *R. tropici* no crescimento da planta de feijão, mas um efeito positivo discreto na reprodução e resistência que merece ser melhor investigado.

Palavras-chave: Fenóis totais. Rizobactérias fixadoras de N. Defesas induzidas das plantas. Microrganismos benéficos. Inoculante.

ABSTRACT

The association of plants with rhizobacteria can contribute to increased growth, reproduction and resistance to insects and pathogens, due to changes in hormones and more efficient absorption of nutrients, mainly the application of nitrogen. This interaction also brings benefits to microorganisms, in addition to a favorable place for the development and formation of colonies, plants provide reduced carbon and other metabolites for these organisms. The effects of this symbiosis can be altered by biotic aspects, such as rhizobacteria species and lineage. Some strains tend to be less competitive and this can reduce effectiveness during colonization. Abiotic aspects must also be considered, as climatic adversities in the field can impair the stability of the colonies. Given this scenario, the objective of this study was to evaluate whether the inoculation of the bean plant (*Phaseolus vulgaris*) by the rhizobacteria *Rhizobium tropici* (CIAT 899) causes changes in the growth, reproduction and resistance of the plant to herbivorous insects. In addition, we investigated whether phenols, an important chemical group that acts in plant defenses, would be altered by the association with rhizobacteria. Two plantings were carried out to conduct the experiments, one in the dry season, from June to September, and the other in the rainy season, from September to December. The tests contained plants from the control (without inoculation) and *Rhizobium* (inoculated) treatments. We evaluated parameters related to growth (root biomass and aerial part, height and height with tendril) and reproduction (date of opening of flowers, number of flowers, number of pods and weight of grains) of the plants, but most of them were not changed due to *Rhizobium* inoculation in both plantations. Only the number of flowers from inoculated plants was greater than that of plants not inoculated in the dry season. The abundance and composition of the herbivorous insect community in the plants of the two treatments was evaluated and there was no significant difference between them in the two seasons. Despite that, in the dry season, a trend towards greater resistance of the inoculated plants was observed, which were 2 times less visited by herbivores than the non-inoculated plants. The analysis of total constitutive phenols (prior to the transfer of the plants to the field) showed that the inoculated plants had reduced phenol content in relation to the non-inoculated plants. However, after exposure to abiotic and biotic stresses in the field, this difference in total phenol levels was no longer observed. Contrary to our hypothesis, in which the effects of inoculation would be positive on the growth, reproduction and resistance of the bean plant to insects, the results indicate a neutral effect of *R. tropici* on the growth of the bean plant, but a discreet positive effect on reproduction and resistance that deserves further investigation.

Key words: Total phenols. N-fixing rhizobacteria. Plant induced defenses. Beneficial microorganisms. Inoculant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

- Figura 1 - Ilustração experimento de campo realizado em área experimental da UFLA.....55
- Figura 2 - Níveis de fenóis totais constitutivos nas plantas dos tratamentos controle e *Rhizobium*.....56
- Figura 3 - Níveis de fenóis totais induzidos nas plantas dos tratamentos controle e *Rhizobium*.....57
- Figura 4 - Abundância de insetos encontrados nas plantas *Rhizobium* e controle, durante as estações chuvosa e seca.....58
- Figura 5 – Composição da comunidade (ACP) de insetos herbívoros nas plantas *Rhizobium* e controle, durante a estação chuvosa.....59
- Figura 6 – Composição da comunidade (ACP) de insetos herbívoros nas plantas *Rhizobium* e controle, durante a estação chuvosa.....60
- Figura 7 – *Caliothrips phaseoli* (Thysanoptera; Thripidae), inseto mais abundante encontrado nas plantas *Rhizobium* e controle, durante as estações seca e chuvosa.....61

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

Tabela 1 – Parâmetros de crescimento das plantas <i>Rhizobium</i> e controle nas estações seca e chuvosa.....	49
Tabela 2 – Parâmetros de estruturas reprodutivas das plantas <i>Rhizobium</i> e controle nas estações seca e chuvosa.....	50
Tabela 3 – Composição dos insetos herbívoros visitantes da planta <i>Rhizobium</i> e controle na estação seca.....	51
Tabela 4 – Composição dos insetos herbívoros visitantes da planta <i>Rhizobium</i> e controle na estação chuvosa.....	53

LISTA DE ANEXOS

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

Tabela 5 – Dados meteorológicos da estação seca.....	62
Tabela 6 - Dados meteorológicos da estação chuvosa.....	64

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO.....13
	REFERÊNCIAS.....17
SEGUNDA PARTE	
ARTIGO – Associação com rizobactéria aumenta o nível de fenóis constitutivos da planta de feijão, mas não resulta em maior crescimento, reprodução e resistência em campo.	
	RESUMO.....23
	ABSTRACT.....24
1	INTRODUÇÃO.....25
2	MATERIAL E MÉTODOS.....28
3	RESULTADOS.....33
4	DISCUSSÃO.....34
5	AGRADECIMENTOS.....39
	REFERÊNCIAS.....40

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os microrganismos são seres microscópicos que estão em abundância no solo (TORSVIK; Sørheim; Goksøyr, 1996, WHITMAN et al. 1998). Desempenham diversas funções, podendo inclusive regular os processos essenciais que acontecem no ecossistema, como a ciclagem de alguns nutrientes e a decomposição. Esses organismos podem mudar a dinâmica da vegetação, pois em associação com as plantas podem causar efeitos positivos, neutros e negativos, interferindo no desenvolvimento e habilidade competitiva das plantas (NANNIPIERI; BADALUCCO, 2003; VAN DER HEIJDEN; BARDGETT; VAN STRAALLEN, 2008). Entre os microrganismos do solo, alguns vivem na rizosfera, como fungos e bactérias. As superfícies radiculares são predominantemente colonizadas por bactérias (STARKEY, 1931). Esses organismos interagem de diversas maneiras (NORMAN, 1947), incluindo serviços benéficos para as plantas, como o aumento na absorção de nutrientes. Em contrapartida, os organismos vegetais fornecem aos indivíduos associados carbono reduzido e outros metabólitos. Sendo assim, eles desenvolvem uma relação de simbiose, onde as duas espécies se beneficiam dessa interação (BACKER, 2018).

A associação com rizobactérias podem alterar fenologia das plantas e interações com organismos acima do solo, por exemplo, com insetos herbívoros, devido a indução de resistência sistêmica (IGIEHON; BABALOLA, 2018). A utilização das rizobactérias fixadoras de nitrogênio gera aumento no crescimento da planta e na reprodução (RODRÍGUEZ-NAVARRO et al., 1999; YADEGARI et al., 2000). Sabe-se que rizobactérias fixadoras de nitrogênio podem alterar a fenologia e a altura das plantas, quantidade de flores, os traços florais básicos e a morfologia vegetal (LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009; BARBER; SOPER GORDEN, 2014; STANLEY; KOIDESHUMWAY, 1993). Por outro lado, alguns trabalhos demonstraram que a inoculação pode ter um efeito neutro para as plantas (ANDRADE; AZCÓN; BETHLENFALVAY, 1995; EDWARDS; YOUNG; FITTER, 1998).

As plantas possuem dois mecanismos de defesas contra insetos herbívoros, defesas constitutivas e induzidas, de natureza física e/ou química (PRICE et al., 1980; KARBAN; BALDWIN, 1997; GATEHOUSE, 2002). As defesas constitutivas são aquelas que estão sempre presentes nos tecidos vegetais, independente da ocorrência de estresses (GATEHOUSE, 2002; CHAUDHARY et al., 2018). Já as defesas induzidas das plantas são

expressas somente após a detecção da herbivoria (LITTLE et al., 2007; PEIFFER et al., 2009; BLENN et al., 2012; FATOUROS, et al., 2012). As defesas das plantas ocorrem através do aumento nos níveis de metabólitos secundários já existentes e síntese de novas moléculas, como o acúmulo de compostos fenólicos, e/ou das defesas físicas. Podem ocorrer a curto e longo prazo incluindo as folhas imaturas, conferindo maior resistência a insetos especialistas e também generalistas (AGRAWAL, 1999; BRIAN; DAWSON, 2002; DALIN; BJÖRKMAN, 2003; LEITNER; BOLAND; MITHÖFER, 2005; MCCALL et al., 2018).

A síntese de defesas induzidas pela herbivoria implica em altos custos energéticos (MAZID et al., 2011), pois depende da expressão de genes relacionados à síntese de enzimas e uma série de reações bioquímicas moduladas, principalmente, pelos níveis de ácido jasmônico (JA), ácido salicílico (SA) e etileno (BARI; JONES, 2009; ZHANG et al., 2013; VON DAHL; BALDWIN, 2013), que atuam sistemicamente e promovendo mudanças bioquímicas em toda a planta (KAPLAN et al., 2008). Apesar disso, essa plasticidade da expressão de defesas dependendo da presença do herbívoro parece ser vantajosa, pois permite que as plantas economizem energia e aloquem-na em crescimento e reprodução na ausência da herbivoria (AGRAWAL, 1999).

Os microrganismos podem induzir a resistência das plantas e alterar os metabólitos secundários (IGIEHON; BABALOLA, 2018). A ISR (Resistência Sistêmica Induzida) por microrganismos geralmente torna a planta mais resistente por ativar o *priming* de modo que a planta, uma vez atacada, defende-se mais rapidamente comparada às plantas que não tiveram esse estímulo anteriormente (CONRATH et al., 2006; FROST et al., 2008; MARTINS et al., 2013). Além disso, a associação entre a planta e organismos abaixo do solo pode alterar os VOCs (Compostos Orgânicos Voláteis) emitidos pela planta, interferindo em sua sinalização. Esses compostos interferem no comportamento dos insetos, podendo ser atraentes ou repelentes (RASMANN et al., 2017; NOMAN et al., 2019; VOLPIANO et al. 2019).

A inoculação de rizobactérias em agrossistemas tem sido bem estudada devido aos seus benefícios. Inclusive a legislação brasileira permite a utilização de inóculos comercializados (Instrução Normativa SDA no 13, de 24 de março de 2011, Brasil). A maioria dos estudos realizados utilizam leguminosas para aprofundar nesse sistema, devido à facilidade na associação entre esses organismos vegetais e diversas espécies de rizobactérias presentes no solo, principalmente do gênero *Rhizobium*. As leguminosas possuem características específicas na nodulação, o que contribui para o desenvolvimento das pesquisas (SCHMIDT, 1978; MARTINEZ-ROMERO, 2003; CHEN et al., 2005; GRAHAM, 2008).

Apesar dos benefícios citados na utilização das rizobactérias, ainda há muitas dificuldades nesse processo, uma delas é a garantia de que ocorrerá uma associação radicular bem sucedida, considerando que no solo já existem outras colônias de rizobactérias competidoras. Outra questão é que a associação com rizobactérias podem alterar as vias de sinalização de hormônios vegetais, influenciando a fisiologia e as interações da planta com o meio, como a resistência a estresses bióticos e abióticos (KEMPEL; BRANDL; SCHÄDLER, 2009).

O feijão é uma leguminosa com grande importância para a população, é fonte de proteínas em vários países, incluindo o Brasil, principalmente devido ao país ser um dos maiores produtores do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) (RODRIGUES et al., 2015). A safra referente ao ano 2018/2019 teve a produção de aproximadamente 3 milhões de toneladas nas três safras, sendo 3% menor comparado ao ano anterior (CONAB, 2019). Normalmente o plantio dessa cultura ocorre em 3 safras (águas, seca e inverno) no Brasil, devido ao ciclo curto da planta, a duração pode ser de 67 a 90 dias, dependendo da cultivar utilizada. O plantio da safra das águas é realizado entre outubro e novembro, da seca entre fevereiro a março e do inverno em julho, sendo que o frio pode prolongar o ciclo (RODRIGUES et al., 2015).

Entre os herbívoros frequentemente encontrados em plantios de feijão, estão: as vaquinhas *Diabrotica speciosa* Germar e *Cerotoma arcuatus* Oliver (Coleoptera: Chrysomelidae), insetos mastigadores que causam danos às folhas. (PEREIRA; 1997; NAVA; PARRA, 2003); a cigarrinha-verde *Empoasca kraemeri* Ross e Moore (Hemiptera: Cicadellidae), que fica na superfície inferior das folhas e sugam a seiva (WILDE; VAN SCHOONHOVEN.; GOMEZ-LAVERDE, 1976; Murray et al. 2004); a mosca-minadora *Liriomyza huidobrensis* Blanchard (Diptera: Agromyzidae), cujas larvas minam as folhas da planta do feijão (AMEIXA et al, 2007; YILDIRIM et al., 2012); a mosca-branca *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) que suga a seiva das folhas e é transmissor do vírus do mosaico dourado. (BOIÇA JÚNIOR; VENDRAMIN, 1988; BYRNE; BELLOWS, 1991; INBAR; GERLING, 2008). Além desses, os tripses (Thysanoptera: Thripidae) constituem um grupo importante de várias espécies que ocorrem frequentemente em plantas de feijão e causam severos danos. Ninfas e adultos sugam o conteúdo celular da epiderme de folhas e flores, formando pontuações brancas nos locais de ataque (BAILEY et al., 1933; BOIÇA JÚNIOR et al, 2015). Para manejar essas pragas, no estado de Minas Gerais, são feitas rotações de cultura nos plantios e, principalmente, o controle químico por meio de inseticidas específicos para cada praga (RODRIGUES et al., 2015). Estudos visando táticas

mais sustentáveis são necessários para reduzir a dependência e o impacto dos químicos no ambiente, principalmente, de uma cultura com alta relevância socioeconômica.

Dois dos principais componentes químicos relacionados a defesa em plantas de feijão são as fitoalexinas e os compostos fenólicos. As plantas de feijão produzem fitoalexinas ocorrem constitutivamente, mas que também são induzidas após a herbivoria (HARGREAVES; BAILEY, 1978). O gradiente dessa resistência pode sofrer variações de acordo com condições ambientais e das plantas utilizadas (selvagens, domésticas e diferentes cultivares) (CRAMER, 1985; LINDIG-CISNEROS; DIRZO; ESPINOSA-GARCÍA 2002). Os compostos fenólicos também conferem resistência constitutiva e induzida no feijão, além disso, esses compostos químicos também têm funções antioxidantes (RAHE et al., 1969; OOMAH; CARDADOR-MARTÍNEZ; LOARCA-PIÑA, 2005; XU.; CHANG, 2009). O aumento desses dois compostos pode ocorrer concomitantemente na indução de resistência (RATHMELL; BENDALL, 1971; BAILEY; BURDEN, 1973).

Neste contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar se a inoculação da planta de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) pela rizobactéria *Rhizobium tropici* (CIAT 899) causa alterações no crescimento, reprodução e resistência da planta a insetos herbívoros. Além disso, investigamos se os fenóis, importante grupo químico que atua nas defesas das plantas, são alterados pela associação com a rizobactéria.

REFERÊNCIAS

- Acomp. safra bras. grãos, **Safra 2018/19 - Décimo segundo levantamento**, Brasília, v.6, p.1-47 setembro 2019.
- AGRAWAL, A. A. Induced responses to herbivory in wild radish: effects on several herbivores and plant fitness. **Ecology**, v.80, n.5, p. 1713-1723, 1999.
- AMEIXA, O. et al. Feeding behavior of *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) and *L. trifolii* (Burgess) adults on bean leaves. **Journal of Insect Behavior**, v.20, n.1, p.137-155, 2007.
- ANDRADE, G.; AZCÓN, R.; BETHLENFALVAY, G. J. A rhizobacterium modifies plant and soil responses to the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. **Applied Soil Ecology**, v.2, n.3, p.195-202, 1995.
- BACKER, R. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in plant science**, v.9, p.1473, 2018.
- BAILEY, J. A.; BURDEN, R. S. Biochemical changes and phytoalexin accumulation in *Phaseolus vulgaris* following cellular browning caused by tobacco necrosis virus. **Physiological Plant Pathology**, v.3, n.2, p.171-177, 1973.
- BAILEY, S. et al. The biology of the bean thrips. **Hilgardia**, v.7, n.12, p.467-522, 1933.
- BALDWIN, I. T.; SCHULTZ, J. C. Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: evidence for communication between plants. **Science**, v.221, n.4607, p.277-279, 1983.
- BARBER, N. A.; SOPER GORDEN, N. L. How do belowground organisms influence plant-pollinator interactions?. **Journal of Plant Ecology**, v.8, n.1, p.1-11, 2014.
- BARI, R.; JONES, J. D. Role of plant hormones in plant defence responses. **Plant Molecular Biology**, v.69, n.4, p.473-488, 2009.
- BLENN, B. et al. Insect egg deposition induces indirect defense and epicuticular wax changes in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Chemical Ecology**, v.38, n.7, p.882-892, 2012.
- BOIÇA JÚNIOR, A. L. et al. Infestation of *Caliothrips phaseoli* (Thysanoptera: Thripidae) on bean cultivars grown in the winter, rainy, and dry seasons in Brazil. **Environmental Entomology**, v.44, n.4, p.1139-1148, 2015.
- BOIÇA JÚNIOR, A. L.; VENDRAMIN, J. D. Desenvolvimento de *Bemisia tabaci* em genótipos de feijão. **An. Soc. Entomol. Bras.**, v.15, p.93-96, 1988.
- BRASIL. Instrução Normativa SDA no 13, de 24 de março de 2011. Aprova as normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura, bem como as relações dos micro-organismos autorizados e recomendados para produção de inoculantes no Brasil, na forma dos Anexos I, II e III, desta Instrução Normativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n.58, 25 mar. 2011.
- BRIAN TRAW, M.; DAWSON, T. E. Reduced performance of two specialist herbivores (Lepidoptera: Pieridae, Coleoptera: Chrysomelidae) on new leaves of damaged black mustard plants. **Environmental Entomology**, v.31, n.4, p.714-722, 2002.

- BRUINSMA, M. et al. Folivory affects composition of nectar, floral odor and modifies pollinator behavior. **Journal of Chemical Ecology**, v.40, n.1, p.39-49, 2014.
- BYRNE, D. N.; BELLOWS JR., T. S. Whitefly biology. **Revisão Anual de Entomologia**, v.36, n.1, p.431-457, 1991.
- CHAUDHARY, A. et al. Plant defenses against herbivorous insects: A Review. **IJCS**, v.6, n.5, p.681-688, 2018.
- CHEN, W. M. et al. Proof that Burkholderia strains form effective symbioses with legumes: a study of novel Mimosa-nodulating strains from South America. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.71, n.11, p.7461-7471, 2005.
- CLAYTON, G. W., et al. Inoculant formulation and fertilizer nitrogen effects on field pea: Crop yield and seed quality. **Canadian Journal of Plant Science**, v.84, n.1, p.89-96, 2004.
- CONRATH, U. et al. Priming: getting ready for battle. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v.19, n.10, p.1062-1071, 2006.
- CRAMER, C. L. et al. Síntese coordenada de enzimas biossintéticas de fitoalexina em células de feijão com estresse biológico (*Phaseolus vulgaris* L.). **The EMBO Journal**, v.4, n.2, p.285-289, 1985.
- CROSSLAND, N. O.; LA POINT, T. W. The design of mesocosm experiments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.11, n.1, p.1-4, 1992.
- DALIN, P.; BJÖRKMAN, C. Adult beetle grazing induces willow trichome defence against subsequent larval feeding. **Oecologia**, v.134, n.1, p.112-118, 2003.
- EDWARDS, S. G.; YOUNG, J. P. W.; FITTER, A. H. Interactions between *Pseudomonas fluorescens* biocontrol agents and *Glomus mosseae*, an arbuscular mycorrhizal fungus, within the rhizosphere. **FEMS Microbiology Letters**, v.166, n.2, p.297-303, 1998.
- FATOUROS, N. E. et al. Plant volatiles induced by herbivore egg deposition affect insects of different trophic levels. **PLoS One**, v.7, n.8, p. e43607, 2012.
- FROST, C. J. et al. Plant defense priming against herbivores: getting ready for a different battle. **Plant Physiology**, v.146, n.3, p.818-824, 2008.
- GATEHOUSE, J. A. Plant resistance towards insect herbivores: A dynamic interaction. **New Phytologist**, Durham, v. 156, p.145-169, 2002.
- GRAHAM, Peter H. Ecology of the root-nodule bacteria of legumes. In: **Nitrogen-fixing Leguminous Symbioses**. Springer, Dordrecht. p. 23-58, 2008.
- HARGREAVES, J. A.; BAILEY, J. A. Phytoalexin production by hypocotyls of *Phaseolus vulgaris* in response to constitutive metabolites released by damaged bean cells. **Physiological Plant Pathology**, v.13, n.1, p.89-100, 1978.
- IGIEHON, N. O.; BABALOLA, O. O. Below-ground-above-ground plant-microbial interactions: focusing on soybean, rhizobacteria and mycorrhizal fungi. **The Open Microbiology Journal**, v.12, p.261, 2018.
- KAPLAN, I. et al. Constitutive and induced defenses to herbivory in above-and belowground plant tissues. **Ecology**, v.89, n. 2, p. 392-406, 2008.

- KARBAN, R.; BALDWIN, I. T. **Induced Responses to Herbivory**. Chicago: The University Of Chicago Press, p. 330, 1997.
- KEMPEL, A.; BRANDL, R.; SCHÄDLER, M. Symbiotic soil microorganisms as players in aboveground plant–herbivore interactions–the role of rhizobia. **Oikos**, v.118, n.4, p.634-640, 2009.
- LEITNER, M.; BOLAND, W.; MITHÖFER, A. Direct and indirect defences induced by piercing-sucking and chewing herbivores in *Medicago truncatula*. **New Phytologist**, v.167, n.2, p.597-606, 2005.
- LINDIG-CISNEROS, R.; DIRZO, R.; ESPINOSA-GARCÍA, F. J. Effects of domestication and agronomic selection on phytoalexin antifungal defense in *Phaseolus* beans. **Ecological Research**, v.17, n.3, p.315-321, 2002.
- LITTLE, D. et al. Oviposition by pierid butterflies triggers defense responses in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v.143, n.2, p.784-800, 2007.
- LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. **Annual Review of Microbiology**, v.63, p.541-556, 2009.
- MARTINEZ-ROMERO, E. Diversity of *Rhizobium-Phaseolus vulgaris* symbiosis: overview and perspectives. **Plant and Soil**, v.252, n.1, p.11-23, 2003.
- MARTINS, S. J. et al. Biological control of bacterial wilt of common bean by plant growth-promoting rhizobacteria. **Biological Control**, v.66, n.1, p.65-71, 2013.
- MAZID, M. et al. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. **Biology and Medicine**, v.3, n.2, p.232-249, 2011.
- MCCALL, A. C. et al. Leaf herbivory induces resistance against florivores in *Raphanus sativus*. **Botany**, v.96, n.5, p.337-343, 2018.
- Murray J.D. et al. Yield and insect injury in leafhopper (*Empoasca fabae* Harris and *Empoasca kraemeri* Ross & Moore) infested dry beans in Ontario and Colombia. **Canadian Journal of Plant Science**, v.84, n.3, p.891-900, 2004.
- NANNIPIERI, P.; BADALUCCO, L. Biological processes. In '**Handbook of processes in the soil–plant system: modelling concepts and applications**'. (Eds DK Bembli, R Nieder), p. 57–76, 2003.
- NAVA, D. E.; PARRA, J. R. P. Biology of *Cerotoma arcuatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) and field validation of a laboratory model for temperature requirements. **Journal of Economic Entomology**, v.96, n.3, p.609-614, 2003.
- NOMAN, A. et al. Plant-insect-microbe interaction: A love triangle between enemies in ecosystem. **Science of the Total Environment**, p.134181, 2019.
- NORMAN, A. G. Recent Advances in Soil Microbiology 1. **Soil Science Society of America Journal**, v.11.C, p.9-15, 1947.
- OOMAH, B. D.; CARDADOR-MARTÍNEZ, A.; LOARCA-PIÑA, G. Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, n.6, p.935-942, 2005.

- OZTURK, A.; CAGLAR, O.; SAHIN, F. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.166, n.2, p.262-266, 2003.
- PEIFFER, M. et al. Plants on early alert: glandular trichomes as sensors for insect herbivores. **New Phytologist**, v.184, n.3, p.644-656, 2009.
- PEREIRA, M. F. A., et al. Damage caused by the leaf beetle, *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824), on beans (*Phaseolus vulgaris* L.), with integrated management. **Ecosystema**, v.22, p.17-20, 1997.
- PRICE, P. W. et al. Interactions among three trophic levels: influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. **Annual Review of Ecology and Systematics, Palo Alto**, v. 11, p. 41-65, nov. 1980.
- RAHE, Je E. et al. Correlation of phenolic metabolism with histological changes in *Phaseolus vulgaris* inoculated with fungi. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v.75, n.1-2, p.58-71, 1969.
- RASMANN, S. et al. Root symbionts: Powerful drivers of plant above-and belowground indirect defenses. **Insect science**, v.24, n.6, p.947-960, 2017.
- RATHMELL, W. G.; BENDALL, D. S. Phenolic compounds in relation to phytoalexin biosynthesis in hypocotyls of *Phaseolus vulgaris*. **Physiological Plant Pathology**, v.1, n.3, p.351-362, 1971.
- RODRIGUES, J. R. de M. et al. Produção de feijão no Sul de Minas. Belo Horizonte: Epamig, 2015. 55 p. il. (EPAMIG. Boletim técnico, 104).
- RODRÍGUEZ-NAVARRO, D. N., et al. Interaction effects between *Rhizobium* strain and bean cultivar on nodulation, plant growth, biomass partitioning and xylem sap composition. **European Journal of Agronomy**, v.11, n.2, p.131-143, 1999.
- SCHMIDT, E. L. A. Ecology of the Legume Root Nodule Bacteria. In: **Developments in Agricultural and Managed Forest Ecology**. Elsevier, p. 269-303, 1978.
- SIMONSEN, A. K. et al. Short-term fertilizer application alters phenotypic traits of symbiotic nitrogen fixing bacteria. **PeerJ**, v.3, p.1291, 2015.
- STANLEY, M.R; KOIDE, R. T. e SHUMWAY, D. L. Mycorrhizal symbiosis increases growth, reproduction and recruitment of *Abutilon theophrasti* Medic. in the field. **Oecologia**, v.94, n.1, p.30-35, 1993.
- STARKEY, R. L. Some Influences of the Development of Higher Plants Upon the Microorganisms in the Soil: IV. Influence of Proximity to Roots on Abundance and Activity of Microorganisms. **Soil Science**, v.32, n.5, p.367-394, 1931.
- STEWART, R. I. A. et al. Mesocosm experiments as a tool for ecological climate-change research. In: **Advances in Ecological Research**. Academic Press, p.71-181, 2013.
- TORSVIK, V.; SØRHEIM, R.; GOKSØYR, J. Total bacterial diversity in soil and sediment communities—a review. **Journal of Industrial Microbiology**, v.17, n.3-4, p.170-178, 1996.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; BARDGETT, R. D.; VAN STRAALLEN, N. M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, v.11, n.3, p.296-310, 2008.

VOLPIANO, C. G. et al. Rhizobia for biological control of plant diseases. In: **Microbiome in plant health and disease**. Springer, Singapore, p.315-336, 2019.

VON DAHL, C. C.; BALDWIN, I. T. Deciphering the role of ethylene in plant–herbivore interactions. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.26, n.2, p.201-209, 2007.

WHITMAN, W. B.; COLEMAN, D. C.; WIEBE, W. J. Prokaryotes: the unseen majority. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.95, n.12, p.6578-6583, 1998.

WILDE, G.; VAN SCHOONHOVEN, A.; GOMEZ-LAVERDE, L. The biology of *Empoasca kraemeri* on *Phaseolus vulgaris*. **Annals of the Entomological Society of America**, v.69, n.3, p.442-444, 1976.

XU, B.; CHANG, S. K. C. Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, n.11, p.4754-4764, 2009.

YADEGARI, M., et al. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, n.12, p.1733-1743, 2010.

YILDIRIM, E. M. et al. The effect of *Liriomyza trifolii* (Burgess)(Diptera: Agromyzidae) on some leaf characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.8, n.3&4, p.839-841, 2010.

ZHANG, P. J. et al. Jasmonate and ethylene signaling mediate whitefly-induced interference with indirect plant defense in *Arabidopsis thaliana*. **New Phytologist**, v.197, n.4, p.1291-1299, 2013.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Associação de rizobactéria com o feijoeiro altera o crescimento, reprodução e resistência da planta a insetos em campo?

(Artigo redigido sob as normas do MANUAL DE NORMALIZAÇÃO E ESTRUTURA DE TRABALHOS ACADÊMICOS: TCCS, MONOGRAFIAS, DISSERTAÇÕES E TESES - 2a edição revista, atualizada e ampliada seguindo a norma para publicação periódica científica NBR 6022 (ABNT, 2003a))

Tatiane C. B. Cândido, Ramom V. Pereira, Patrícia Pereira, Manuela Junqueira Merlo, Marvin Pec,
João Pedro de C. Ribeiro, Maria Fernanda G. V. Peñafior

Laboratório de Ecologia Química das Interações Inseto-Planta (LEQIIP), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Entomologia, Av. Dr. Sílvio Menicucci, 1001, Campus Universitário, 37200-900, Lavras, MG, Brasil.

RESUMO

A associação das plantas com rizobactérias é conhecida por conferir aumento no crescimento, reprodução e resistência contra patógenos e herbívoros devido a mudanças na nutrição e balanço hormonal das plantas. Esses efeitos, no entanto, são variáveis dependendo de diversos fatores bióticos e abióticos, como a espécie e linhagem da rizobactéria e alterações climáticas no campo. O objetivo desse estudo foi avaliar se a inoculação da planta de feijão (*Phaseolus vulgaris*) pela rizobactéria *Rhizobium tropici* (CIAT 899) causa alterações no crescimento, reprodução e resistência da planta a insetos herbívoros. Além disso, investigamos se os fenóis, selecionado como um grupo químico *proxy* de defesa da planta, seriam alterados pela associação com a rizobactéria. Os resultados mostraram que a inoculação com a rizobactéria não alterou parâmetros de crescimento da planta de feijão (biomassa radicular e parte aérea, altura e altura com gavinha) ou reprodução (data de abertura das flores, número de vagens e peso dos grãos), mas promoveu um aumento no número de flores das plantas na estação seca. Em relação aos fenóis totais, plantas inoculadas apresentaram menores níveis em relação às plantas não inoculadas, no entanto, no campo, sob infestação de herbívoros, essa diferença não foi mais observada. Apesar dessa redução do nível de fenóis constitutivos das plantas inoculadas, houve uma tendência das plantas inoculadas serem mais resistentes aos herbívoros na estação seca, quando a abundância de insetos foi, aproximadamente, 2 vezes menor em relação às plantas não inoculadas. Porém, na estação chuvosa, essa tendência não foi observada. A inoculação pela bactéria também não alterou a composição da comunidade de insetos em ambas estações. Os resultados indicam que a inoculação com *R. tropici* teve um efeito neutro no crescimento da planta de feijão, mas um leve efeito positivo na reprodução e resistência que necessita de mais estudos para compreender melhor esse sistema.

Palavras chave: Defesas induzidas de plantas. Fenóis totais. Herbivoria. Rizobactéria promotora de crescimento vegetal.

ABSTRACT

The association of plants with rhizobacteria is known to increase growth, reproduction and resistance against pathogens and herbivores due to changes in plant nutrition and hormonal balance. These effects, however, vary depending on several biotic and abiotic factors, such as the species and lineage of rhizobacteria and climatic changes in the field. The aim of this study was to evaluate whether the inoculation of the bean plant (*Phaseolus vulgaris*) by the rhizobacterium *Rhizobium tropici* (CIAT 899) causes changes in the plant's growth, reproduction and resistance to herbivorous insects. In addition, we investigated whether phenols, selected as a plant defense chemical group, would be altered by association with rhizobacteria. Our results showed that inoculation with rhizobacteria did not alter growth parameters of the bean plant (root biomass and aerial part, height and height with tendrils) or reproduction (date of opening of flowers, number of flowers, number of pods and grain weight), but promoted an increase in the number of plant flowers in the dry season. In relation to total phenols, inoculated plants showed lower levels than non-inoculated plants, however, in the field, under herbivore infestation, this difference was no longer observed. Despite this reduction in the level of phenols constituting the inoculated plants, there was a tendency for the inoculated plants to be more resistant to herbivores in the dry season, when the insect abundance was approximately 2 times lower in relation to the non-inoculated plants. However, in the rainy season, this trend was not observed. The inoculation by the bacteria also did not change the composition of the insect community in both seasons. The results indicate that inoculation with *R. tropici* had a neutral effect on the growth of the bean plant, but a slight positive effect on reproduction and resistance, which needs further studies to better understand this system.

Key words: Plant induced defenses. Total phenols. Herbivory. Plant growth promoting rhizobacteria.

1 INTRODUÇÃO

Os microrganismos são seres muito abundantes no solo que participam e contribuem para diversas funções do ecossistema, como a decomposição e a ciclagem de nutrientes (TORSVIK; SØRHEIM; GOKSØYR, 1996, WHITMAN et al. 1998). Esses indivíduos podem influenciar a dinâmica de toda a vegetação, inclusive das florestas, devido a sua associação com os organismos vegetais e dos efeitos (neutros, positivos ou negativos) ocasionados por essa interação (NANNIPIERI; BADALUCCO, 2003; VAN DER HEIJDEN; BARDGETT; VAN STRAALLEN, 2008). O habitat de alguns desses microrganismos, como fungos e bactérias, é a rizosfera. Esses organismos interagem com as plantas de diversas maneiras e muitos são benéficos para as plantas (NORMAN, 1947). Essa relação, caracterizada como uma simbiose, pois as duas espécies envolvidas se beneficiam. As plantas são favorecidas pelo aumento na absorção de nutrientes, principalmente na fixação de N e as rizobactérias pela captação do carbono reduzido e outros metabólitos fornecidos pelas plantas (BACKER, 2018).

A associação com microrganismos benéficos pode auxiliar as plantas a lidar com pressões ambientais, assim como as exercidas pelos insetos herbívoros. Os estudos com endossimbiontes mutualísticos estão avançando, principalmente considerando as leguminosas, devido a seu alto potencial de associação com microrganismos do solo (PEIX et al, 2015). A proposta de utilizar rizobactérias fixadoras de N do gênero *Rhizobium*, também chamadas de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP), está se tornando mais comum (LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009; YADEGARI et al., 2010; JAHANIAN et al., 2012). A maior parte dos estudos relata que esses microrganismos conferem aumento no crescimento e produtividade das plantas (VESSEY, 2003; LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009; KUMAR et al., 2015), mas alguns outros obtiveram resultados neutros (ANDRADE; AZCÓN; BETHLENFALVAY, 1995; EDWARDS; YOUNG; FITTER, 1998; HASAN et al., 2014).

Devido à pressão exercida pelos insetos herbívoros, as plantas se adaptaram aos ambientes desenvolvendo diversos mecanismos físicos e químicos para sanar esses ataques (PRICE et al., 1980; KARBAN; BALDWIN, 1997). As plantas possuem defesas constitutivas, que estão presentes em todos os momentos, mesmo antes de algum ataque, podem ser substâncias químicas ou físicas, que fazem o papel de barreiras (WITTSTOCK; GERSHENZON, 2002; KEMPEL, 2011; CHAUDHARY et al., 2018). Há também as defesas induzidas, que são ativadas apenas após a injúria, devido ao seu alto custo para a planta

(KARBAN; MYERS, 1989; AGRAWAL, 1998; CIPOLLINI; PURRINGTON; BERGELSON, 2003). As defesas induzidas podem ser através do aumento dos metabólitos secundários, como o acúmulo de compostos fenólicos, ou através da síntese de novos compostos (AGRAWAL, 1999; LEITNER; BOLAND; MITHÖFER, 2005; MCCALL et al., 2018).

O alto custo da indução está relacionado a expressão de genes envolvidos nas reações bioquímicas moduladas principalmente pelos níveis de três fitohormônios: o ácido jasmônico (JA), ácido salicílico (SA) e etileno (REYMOND; FARMER, 1998; KESSLER; BALDWIN, 2002; PIETERSE; DICKE, 2007; MAZID et al., 2011). Diante disso, não seria vantajoso para a planta ter um gasto energético alto para manter essas defesas ativas nos tecidos vegetais em todos os momentos, ocorrendo a indução apenas após a injúria (AGRAWAL, 1998;). Geralmente os insetos mastigadores ativam as rotas dependentes do JA e que insetos sugadores ativam uma rota diferente, dependente do AS (MORAN; THOMPSON, 2001; WALLING, 2008; THALER; HUMPHREY; WHITEMAN, 2012).

Alguns estudos mostram que a inoculação por microrganismos benéficos pode conferir maior resistência as plantas (VAN LOON; BAKKER; PIETERSE, 1998). A resistência sistêmica induzida (ISR) ocorre através do efeito de *priming*, ou seja, após a injúria essas defesas são expressas de forma mais rápida e mais forte (PINEDA et al., 2010; JUNG et al., 2012; JUNG et al., 2012; MARTINS et al., 2013). Os fitohormônios JA, SA e etileno são os sinalizadores para que essa reação aconteça. O efeito de *priming* reduz o custo energético envolvido na ISR pelas plantas (PIETERSE et al., 2000 e 2014; VAN DER ENT; VAN WEES; PIETERSE, 2009; PINEDA 2013). A ISR é mais eficaz a alguns grupos de insetos, por exemplo, a planta se torna menos suscetível a ataque de insetos mastigadores comparados aos insetos sugadores, devido ao modo de alimentação, os insetos mastigadores vão induzir substâncias de defesas produzidas pelas plantas, como os metabólitos secundários (BRUCE; PICKETT, 2007; HARTLEY; GANGE, 2009; KEMPEL; BRANDL; SCHÄDLER, 2009; PINEDA et al., 2010). Além disso, a indução da resistência afeta mais insetos generalistas, ou seja, não tem efeito nos insetos especialistas (VAN OOSTEN et al., 2008).

Mesmo com vários benefícios na utilização das rizobactérias ainda há muitas dificuldades em sua aplicação (GRAHAM, 1981). Faltam padrões que descrevam todo o processo desde a multiplicação dos organismos até o plantio (GRAHAM, 1981; CLAYTON et al., 2004; NESON, 2004; RASMANN et al., 2017), como a concentração durante o

processo de cultivo até a concentração e tipos de adubos para não reduzir a eficácia, principalmente envolvendo a quantidade de N a ser aplicada (OZTURK; CAGLAR; SAHIN, 2003; ADESEMOYE; TORBERT; KLOEPPER, 2010; BARGAZ et al., 2018). Alguns autores apontam o efeito sinérgico utilizando mais de um microrganismo, ou seja, a co-inoculação pode potencializar os efeitos, trazendo maior efeito positivo para as plantas (AKKÖPRÜ; DEMIR, 2005; YADEGARI et al., 2008; KUMAR et al., 2017).

Os experimentos desenvolvidos no campo demonstram certa instabilidade na utilização desses inóculos devido a heterogeneidade ambiental (GRAHAM, 1981). Um dos aspectos considerados nesses trabalhos é a habilidade competitiva desses organismos, considerando que no campo há colônias nativas dos solos utilizados e que já estão adaptadas aquele ambiente, isso pode impedir a colonização e estabilização das rizobactérias inoculadas (GRAHAM; HALLIDAY, 1977; VARGAS et al., 1991). Além disso, na casa de vegetação as condições são controladas, facilitando a colonização. No campo as alterações climáticas podem interferir no desenvolvimento das plantas e prejudicar o processo posterior à inoculação (GRAHAM, 1981; NELSON, 2004).

Mesmo diante de todas essas informações, as plantações agrícolas ainda utilizam pesticidas e inseticidas em grandes quantidades. O feijão é um ótimo modelo para esse estudo, devido a suscetibilidade a pragas, o ciclo rápido e o padrão de cultivo bem definido (YOKOYAMA, 2002; RODRIGUES et al., 2015). Além disso, o Brasil produz feijão comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioquinha (Fabaceae) em larga escala. Em 2018/2019, a safra produziu aproximadamente 3 milhões de toneladas (CONAB, 2019). Essa cultura é valorizada no país por ser considerada uma importante fonte de proteína para a população (RODRIGUES et al., 2015).

As fitoalexinas e os compostos fenólicos são duas importantes classes químicas que atuam nas defesas do feijão contra insetos herbívoros, podendo atuar de forma sinérgica ou separadamente (RATHMELL; BENDALL, 1971; BAILEY; BURDEN, 1973). Os compostos fenólicos podem ser constitutivos e induzidos, ocorrendo o acúmulo após o estresse biótico (LATTANZIO; LATTANZIO; CARDINALI, 2006). Além disso, esses são importantes compostos que atuam na função antioxidante (RAHE et al., 1969; OOMAH; CARDADOR-MARTÍNEZ; LOARCA-PIÑA, 2005; XU.; CHANG, 2009). As fitoalexinas é induzida após o dano na planta, mas já foi comprovado que tecidos vegetais, sem a ocorrência de dano, também contém esse composto. O estresse abiótico também pode interferir no

acúmulo desses compostos e, conseqüentemente, na resistência das plantas de feijão (HARGREAVES; BAILEY, 1978; CRAMER, 1985; LINDIG-CISNEROS; DIRZO; ESPINOSA-GARCÍA 2002).

Diante deste cenário, o objetivo desse trabalho foi avaliar se a inoculação da planta de feijão comum (*P. vulgaris*) pela rizobactéria *Rhizobium tropici* (CIAT 899) causa alterações no crescimento, reprodução e resistência da planta a insetos herbívoros. Além disso, investigamos se os fenóis, importante grupo químico que atua nas defesas das plantas, seriam alterados pela associação com a rizobactéria.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Cultivo das plantas e inoculação da rizobactéria

As sementes de feijão tipo carioca (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) foram cultivadas em casa de vegetação, sem controle de luz e temperatura até o estádio R6 (início da floração). Para a semeadura foram utilizados vasos de polietileno (5 L de capacidade) contendo latossolo vermelho escuro (horizonte C) (pH 5.6, K 35.98, P 1.08 mg/dm³; Ca 1.93, Mg 0.16, Al 0.04 H+AL 2.22 cmolc/dm³; SB 2.5, t 2.22, T 4.40, cmolc/dm³; V 49.60% , m 1.80%; M.O. 1.29 dag/kg P-Rem 7.49 mg/L; Zn 1.58, Fe 62.95, Mn 19.16, Cu 4.08, B 0.01, S 168.30 mg/dm³, Argila 58 dag/kg, silte 30 dag/kg). Todas as sementes foram tratadas com solução de álcool 70% por 30 segundos, hipoclorito de cloro a 1% por 60 segundos e sucessivamente lavadas com água destilada e auto clavada 5 vezes. As exigências nutricionais da cultura foram supridas de acordo com a recomendação de Malavolta para vaso (MALAVOLTA E. et al., 1997) P = 300, K = 200, S = 50, B = 0.9, Cu = 1.5, Fe = 2 , Mn = 4, Mo = 0.15 e Zn = 5 (mg/kg⁻¹). Os nutrientes foram fornecidos na forma de fosfato de cálcio Ca (H₂PO₄)₂, sulfato de magnésio MgSO₄ 7H₂O, cloreto de ferro FeCl₃ + 6H₂O, Na₂MO O₄ 2H₂O, Zn SO₃ 7H₂O, Mn SO₄ H₂O, H₃BO₃ e Cu SO₄ 5H₂O. O cloreto de potássio foi fracionado em duas aplicações, sendo a primeira realizada no preparo do solo e a outra aplicação de cobertura 15 dias após o plantio. Além disso, foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura 40kg/ha na forma de Uréia 45% dividida em duas aplicações com intervalo de 15 dias entre elas, a primeira aplicação ocorreu no 15º dia após o plantio.

O inoculante *R. tropici* Ciat 899 foi fornecido pelo laboratório de microbiologia agrícola da Universidade Federal de Lavras (Lavras, MG, Brasil), que foi preparado na

proporção 3:1 de turfa e cultura em meio semi sólido YM na fase log, de acordo com procedimentos descritos por Soares et al. (2006) e Ferreira et al. (2009). Para obter plantas de feijão inoculadas, após a esterilização das sementes, foi aplicado a turfa contendo *R. tropici* na proporção de 3 gramas de turfa a cada 100 gramas de semente. Para o tratamento controle (planta não inoculada), as sementes foram tratadas com a turfa na mesma proporção que as sementes inoculadas, porém, sem a adição dos microrganismos.

2.2 Experimento de campo

O experimento de campo foi realizado em uma área experimental localizada na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais, com latitude 21°13'15.154" S e longitude 44°58'11.129" W. A área utilizada para o experimento foi de 370 m² e está situada a 60 m de uma estrada de terra pouco movimentada (Figura 1). Ao redor desse espaço há gramíneas e vegetação nativa, além de parcelas de terras destinadas a plantios agrícolas localizadas a poucos metros de distância do local.

Vasos de plantas inoculadas com *R. tropici* e não inoculadas no estágio R6 (floração) foram transferidos da casa de vegetação para área experimental e isolados em mesocosmos. Cada mesocosmo continha 5 plantas do mesmo tratamento, sendo que 1 planta foi coletada para estimar a biomassa, e as outras 4 permaneceram para a observação. Cada mesocosmo foi montado por uma estrutura de ferro (0,75 m de comprimento x 0,50 m de largura, 0,80 m altura) coberta por tecido de trama fina (*voile*), que evitou a entrada de insetos. Nesse experimento foram utilizadas plantas no estágio R6 dos tratamentos controle (sem inoculação) e inoculada por *R. tropici*. As plantas foram transferidas para o campo 2 dias antes do início das observações. Foram instalados 12 mesocosmos, distribuídos em 6 blocos com distância de 3 m entre eles. Cada bloco possuía uma repetição de cada tratamento, com distância de 1,5 m entre eles. A posição que cada tratamento ocupou dentro do bloco foi definida aleatoriamente (Figura 1).

O mesocosmo foi removido no momento da observação e todos os insetos herbívoros que chegaram nas plantas, ou entraram nos mesocosmos, foram coletados. A observação por mesocosmo durou 10 minutos e foram realizadas no período da tarde, entre 13:00h e 17:00h, por 10 dias em condições climáticas adequadas (ou seja, na ausência de ventos fortes e tempo chuvoso devido a interferência na chegada dos insetos herbívoros). Todos os insetos encontrados nas plantas foram coletados e mortos em álcool 70% para posterior identificação.

Foi contabilizado o número de insetos por mesocosmo (abundância) assim como avaliada a composição.

Foram também avaliados parâmetros do crescimento e reprodução de todas as plantas. Como parâmetros de crescimento, foram mensuradas a altura das plantas, altura com gavinha, biomassa da parte aérea e radicular. As alturas foram medidas com fita métrica quando iniciou o surgimento das primeiras flores. Para mensurar a altura da planta com gavinha, medimos a altura da planta adicionando a medida da parte da gavinha que normalmente se enrola nas superfícies. Para a realização da biomassa radicular e vegetativa, foi retirada uma planta de cada mesocosmo no primeiro dia de observação e coleta de insetos herbívoros, totalizando 6 repetições por tratamento. As plantas foram levadas para o laboratório, onde a parte vegetativa permaneceu na estufa a 60°C por 48h, e a parte radicular por 24h. A biomassa foi estimada utilizando uma balança de precisão analítica (Marte - AY220). Foram avaliados como parâmetros da reprodução: número de flores, comprimento e diâmetro das flores, data da antese, número de vagens por planta e peso das sementes por vagem.

O experimento de campo foi conduzido em duas estações. Na estação seca, o plantio ocorreu no dia 3 junho de 2019. No dia 20 de julho iniciou a abertura das primeiras flores (estádio R6) e no dia 24 foram transferidas para o campo. As observações ocorreram entre os dias 26 de julho a 7 de agosto, pois alguns dias não estavam com as condições ideais para a observação e coleta de insetos, devido a ventos fortes e chuva. As plantas permaneceram no campo até a maturação e secagem das sementes, em setembro de 2019. Na estação chuvosa, o plantio foi realizado no dia 10 de setembro. No dia 18 de setembro as plantas entraram no estágio R6 e no dia 23 de setembro foram transferidas para o campo. As observações ocorreram nos dias 25 de outubro a 5 de novembro, pois alguns dias também não estavam com as condições ideais, devido a ventos fortes e chuvas. Após as observações e coleta de insetos, as plantas permaneceram no campo recobertas com *voile* até o enchimento e secagem das vagens. Durante todo o período que as plantas permaneceram no campo, quando necessário, a demanda hídrica da planta foi suprida por irrigação manual.

O alto índice de chuvas durante o experimento da estação chuvosa ocasionou a mortalidade de muitas plantas dos dois tratamentos. A dinâmica de altas temperaturas no período da tarde e chuvas no final da tarde/noite provocou um elevado nível de estresse das plantas que deve ter contribuído com a alta mortalidade das plantas. Sendo assim, após a remoção da planta dos mesocosmos para a avaliação da biomassa, restou apenas 1 planta em cada mesocosmo para as observações na estação chuvosa.

2.3 Fenóis totais

As medições de fenóis totais foram realizadas no Laboratório de Fisiologia do Parasitismo do Depto de Fitopatologia da UFLA, sob coordenação do Prof. Mário Lúcio Vilela Resende.

O trifolíolo mais jovem das plantas dos tratamentos de inoculação/defestação e controle, foi coletado, congelado em Nitrogênio líquido, liofilizado (LÍOTOP, modelo L101) durante 24h a -50°C e triturado em almofariz com pistilo até obter um pó fino. Essas amostras foram retiradas de plantas que foram submetidas à herbivoria em níveis variáveis no campo, após as observações, com o intuito de avaliar os níveis desses compostos em condições naturais. Na estação seca a coleta ocorreu no dia 13 de agosto, as plantas estavam no estágio R8. Na estação chuvosa, o trifolíolo foi retirado 21 de novembro, as plantas também estavam no estágio R8. Além disso, no plantio da estação chuvosa, foram avaliados os níveis de defesas constitutivas das plantas, a coleta aconteceu enquanto as plantas ainda estavam em condições controladas (casa de vegetação), no dia 25 de outubro e as plantas estavam no estágio R6.

Após a trituração e obtenção do pó fino, foi retirada uma alíquota de 30 mg acondicionada em um microtubo com 1,5 mL de metanol a 80%. Os microtubos foram agitados em agitador rotativo por 15h, no escuro e a temperatura ambiente. A suspensão foi centrifugada a 12.000 g por 5 min. O sobrenadante foi transferido para um novo microtubo para a análise dos fenóis totais.

O método desenvolvido por Spanos e Wrolstad (1990), com algumas modificações, foi utilizado para a determinação de concentração de compostos fenólicos solúveis totais. Em microplacas, alíquotas de 15 μL do extrato metanólico foram misturadas a 15 μL de metanol 80% e a 30 μL do reagente de Folin-Ciocalteu 0,25 N por 5 min homogeneizadas com 30 μL de Na_2CO_3 1 M por 10 min e diluídas com 110 μL de água destilada, à temperatura ambiente, por 1 h. Os valores de absorvância desta reação foram determinados a 725 nm, em espectrofotômetro de Elisa e calculados com base em curva de ácido clorogênico. Os compostos fenólicos totais foram expressos em equivalente μg de ácido clorogênico por miligrama de massa seca.

2.4 Preparação e identificação dos insetos

As espécies de tripes (ordem Thysanoptera) foram identificadas pela visualização dos espécimens em lâminas preparadas pelo método de Mound & Kibby (1998). O primeiro passo da preparação foi a diafanização dos exemplares que visa o clareamento da superfície epidérmica dos insetos, proporcionando maior clareza na visualização morfológica. As amostras contendo os indivíduos foram colocadas em placas de Petri, em solução aquosa de 10% Hidróxido de Potássio (KOH), permanecendo por 4 horas. Posteriormente, os insetos foram transferidos para microtubos com água destilada. Após 12 horas, os espécimens foram desidratados e colocados em placas de Petri (60 X 15 mm) contendo diferentes concentrações de álcool em intervalos de tempo de 10 minutos, conforme descrito a seguir: Álcool 50% durante 10 minutos, Álcool 60% durante 10 minutos, Álcool 70% durante 10 minutos, Álcool 80% durante 10 minutos, Álcool 90% durante 10 minutos e Álcool 95% durante 10 minutos. A montagem das lâminas foi realizada sob o microscópio estereoscópico, onde cada lâmina recebeu uma gota do meio Hoyer na porção central e, em seguida, um tripe foi colocado na posição dorsal. Com o auxílio de estiletes finos, as pernas, antenas e asas posteriores e anteriores foram distendidas e uma lamínula foi colocada sobre a lâmina, o tempo de secagem é de aproximadamente 6 meses. As espécies de tripes foram identificadas utilizando as chaves de identificação de Mound e Marullo (1966), Mound e Kibby (1998) e Cavalleri e Mound (2012).

Os insetos das outras ordens foram colocados em placas de Petri (60 X 15 mm) sob o microscópio estereoscópico, após a avaliação das estruturas eles foram identificados utilizando a chave de identificação de Rafael (2012).

2.5 Análises Estatísticas

A normalidade e homogeneidade das variâncias dos dados foram testadas pelo teste de Shapiro Wilk e de Levene. Como os dados de crescimento e reprodução das plantas (altura da planta, tamanho da flor, data de abertura, vagens e sementes, e biomassa) atenderam as premissas da análise paramétrica, eles foram analisados pelo teste t de Student. Já os dados de fenóis totais foram analisados pelo Modelo Linear Generalizado com distribuição Gamma e função de link identity. A abundância de insetos foi analisada usando a distribuição de erro quasi-poisson (para explicar a sobredispersão) e uma função de link logit. Foi utilizando teste da razão de verossimilhança (log-likelihood ratio) para avaliar o efeito dos tratamentos, das

análises de fenóis totais e abundância de insetos. Para avaliação do efeito dos tratamentos na Composição de espécies da comunidade utilizou-se a Análise de Componentes Principais (ACP), na qual somente as espécies com frequência maior que 1 nas coletas foram consideradas como variáveis. Todas as análises, com exceção da ACP que foi realizada no software Minitab versão 14 (Minitab Inc., State College, USA), foram feitas utilizando-se o pacote estatístico R 3.6 (R Core Team, 2019).

3. RESULTADOS

3.1. Crescimento

Plantas de feijão inoculadas com *R. tropici* apresentaram todos os parâmetros de crescimento, altura, altura com gavinha, biomassa de raiz e vegetativa, semelhantes aos das plantas não inoculadas tanto na estação seca e chuvosa (Tabela 1).

3.2. Reprodução

Plantas de feijão inoculadas com *R. tropici* apresentaram todos os parâmetros de reprodução (comprimento de flor, diâmetro de flor, data de abertura de flor, número de vagens e peso das sementes) semelhantes aos das plantas não inoculadas nas duas estações (Tabela 2). No entanto, o número de flores na estação seca foi maior nas plantas de feijão inoculadas com *Rhizobium* em relação às plantas não inoculadas. Já na estação chuvosa, o número de flores foram similares nos dois tratamentos.

3.3 Fenóis Totais

Plantas de feijão inoculadas com *R. tropici* apresentaram níveis constitutivos de fenóis totais reduzidos em relação às plantas de feijão não inoculadas ($\chi^2 = 8.356$, d. f. = 1, $p = 0.003$; Figura 2). No entanto, no campo, sob níveis variados de infestação por herbívoros, o conteúdo de fenóis totais de plantas inoculadas foram semelhantes às plantas não inoculadas tanto na estação seca (GLM, teste da razão de verossimilhança; $\chi^2 = 0.280$, d. f. = 1, $p = 0.596$; figura 3) quanto na estação chuvosa ($\chi^2 = 0.2565$, d. f. = 1, $p = 0.612$; Figura 3)

3.4 Insetos herbívoros

Foram encontrados um total de 168 insetos herbívoros na estação seca e 144 na estação chuvosa, pertencentes às Ordens Diptera, Hymenoptera, Coleoptera, Psocodea, Hemiptera, Thysanoptera, Dermaptera e Orthoptera nas plantas de feijão inoculadas com *R. tropici* e não inoculadas (Tabelas 3 e 4). Os tripes (Ordem Thysanoptera) foram os insetos herbívoros mais abundantes com 209 indivíduos, seguido dos Hemiptera (62 indivíduos), Diptera (44), Coleoptera (8), Hymenoptera (6), Orthoptera (3), Dermaptera (1) e Psocodea (1). Na estação seca, a abundância média de insetos herbívoros foi 1,9 vezes menor em plantas de feijão inoculadas com *R. tropici* em relação às plantas não inoculadas. Apesar disso, não houve diferença significativa entre os tratamentos na estação seca ($\chi^2 = 1.745$, d. f. = 1, $p = 0.186$; Figura 4). Já na estação chuvosa, não foi observada a mesma tendência, pois as abundâncias de insetos encontrados nas plantas inoculadas e não inoculadas foram similares ($\chi^2 = 0.489$, d. f. = 1, $p = 0.481$; Figura 4).

A ACP revelou que não houve separação entre a composição de espécies de insetos herbívoros encontrados em plantas inoculadas e não inoculadas, tanto na estação seca quanto na chuvosa, ao longo de 4 componentes (Figura 5 e 6).

4. DISCUSSÃO

Muitos trabalhos demonstram que a colonização de plantas por rizobactérias aumentam o crescimento e a reprodução das plantas (FIGUEIREDO, 2008; VESSEY, 2003; LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009; VACHERON et al., 2013). Em menor número, existem relatos mostrando que a inoculação de alguns microrganismos não alteram o crescimento ou reprodução vegetal (GRAHAM, 1981; HARDARSON; DANSO, 1993; NELSON, 2004), indicando que a relação provavelmente não se estabeleceu. A compatibilidade e eficiência depende, principalmente, da espécie e linhagem de rizobactéria.

No nosso estudo, foi selecionada a rizobactéria *R. tropici* (Ciat 899) que é conhecida por se associar com *P. vulgaris*, promovendo crescimento e aumentando a produtividade de (SOARES et al., 2006; SOARES et al., 2016; FERREIRA et al., 2018). Sabe-se que modo de formulação do inoculante, a utilização em turfa, líquido ou granular, assim como a concentração e frequência na aplicação de rizobactérias estão intimamente relacionados com a eficácia das mesmas (CLAYTON et al., 2004; NELSON, 2004; RASMANN et al., 2017). Apesar de ter sido utilizado o mesmo método dos estudos que demonstram a eficácia de *R.*

tropici (Ciat 899) (SOARES et al., 2016; FERREIRA et al., 2018), o tratamento com a rizobactéria não alterou parâmetros de crescimento ou reprodução da planta, com exceção do número de flores no plantio da estação seca, que foi 57 % maior nas plantas inoculadas (Tabela 1 e 2). A explicação para esse resultado pode estar relacionada a um conjunto de fatores.

Alguns trabalhos demonstram que a eficácia de algumas rizobactérias pode ser decorrente da interação com outros microrganismos benéficos que habitam o solo. Por exemplo, a co-inoculação (combinação entre a inoculação de dois microrganismos) pode resultar em maior crescimento e reprodução da planta mesmo que, isoladamente, as linhagens apresentem efeito neutro nas plantas (EDWARDS; YOUNG; FITTER, 1998; HASAN et al., 2014). Outra questão importante é encontrar uma rizobactéria que seja competitiva o suficiente para ocorrer a colonização mesmo em solos que já tenham colônias nativas estabelecidas (BUTTERY; PARK; FINDLAY, 1987; VARGAS; MENDES; HUNGRIA, 2000; NELSON, 2004). Os indivíduos nativos já estão adaptados aquele ambiente, podendo ter uma vantagem competitiva comparada aos inoculados. Dessa forma, como o solo dos vasos não foi autoclavado devido à necessidade de retratar a complexidade dessas interações no ambiente real, é possível que a competição entre os microrganismos do solo tenha interferido no processo de colonização. Foi realizado um pré-teste utilizando solo autoclavado, mas causou fitotoxicidade na planta de feijão. Para revelar se essa foi a causa do efeito neutro de *R. tropici* (Ciat 899) no crescimento e reprodução de *P. vulgaris*, estudos sobre as espécies de rizobactérias nativas no determinado solo e a competitividade com o inoculante (CIAT 899) são necessários.

Outro fator importante que pode ter comprometido a eficácia de *R. tropici* refere-se à adubação com Nitrogênio (N) que, dependendo quantidade, pode neutralizar os efeitos das rizobactérias (VARGAS; MENDES; HUNGRIA, 2000; CLAYTON et al., 2004; SIMONSEN et al., 2015; NASSER et al., 2019). Há controvérsias na literatura sobre a recomendação na adubação de N para otimizar o papel das rizobactérias em leguminosas. Utilizamos a adubação nitrogenada aplicada em duas parcelas reduzidas de 20 kg/ha, como em Soares et al. (2016), porém, alguns autores indicam que esse tipo de adubação reduz a eficiência dos microrganismos (WEESE et al., 2015; BARGAZ et al., 2018). Outros trabalhos demonstraram que a utilização de N em baixas doses (isto é, entre 15 kg/ha a 25 kg/ha) combinadas com a inoculação pode ter um efeito sinérgico (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2003; ANDRAUS; CARDOSO; FERREIRA, 2016; SOARES et al., 2016). Assim, a

quantidade que deve ser aplicada juntamente à inoculação ainda não está bem definida e parece ser variável dependendo da espécie de planta e microrganismo.

As alterações climáticas, além de fatores bióticos também podem ter interferido no processo de associação e estabilidade da colônia de rizobactérias no solo e planta. Um outro estudo do nosso grupo mostrou que a inoculação por *R. tropici* (Ciat 899) em *P. vulgaris* (carioquinha) cultivado em casa de vegetação aumentou a biomassa da parte aérea em 25% no estágio vegetativo V4 (PEREIRA R.M., dados não publicados). Esse efeito positivo da rizobactéria no crescimento vegetal pode ter sido anulado no experimento em campo devido a heterogeneidade de fatores abióticos e bióticos, que exercem efeitos mais intensos do que em condições de semi-campo (NELSON, 2004; VAN OOSTEN et al. 2008). Em ambas estações de plantio (seca e chuvosa), as plantas de feijão foram submetidas a estresses ambientais drásticos que interferiram no processo de desenvolvimento e mortalidade das plantas. O plantio de feijão na estação seca foi prejudicado por um frio intenso e altas variações de temperatura (com temperatura mínima de 4,9 °C e máxima de 28,4 °C) (Tabela 5), enquanto que na estação chuvosa por temperaturas elevadas durante o dia (temperatura mínima de 12,6 °C e máxima de 36,2 °C) (Tabela 6), e fortes chuvas no período da noite (total de 162,5 mm durante todo o experimento e de 53,6 durante as observações no campo) (Tabela 6). Esses estresses ambientais podem ter contribuído para a anulação dos efeitos positivos da rizobactéria no crescimento. Já em relação à reprodução da planta de feijão, embora não tenha sido consistente nas duas estações, as plantas inoculadas *R. tropici* produziram mais flores na estação seca. Essa incongruência entre estações pode ser resultante das diferenças na intensidade dos estresses ambientais. As plantas da estação chuvosa desenvolveram mais (isto é, tiveram maior biomassa da parte aérea, plantas controle foram 2,85 vezes maiores e *Rhizobium* foram 3,19 vezes maiores na estação chuvosa comparada aos mesmos tratamentos na estação seca) na casa de vegetação (Figura 1), mas no momento em que foram transferidas para o campo, apresentaram alta mortalidade (60%). Já na estação seca, as plantas de feijão foram submetidas a baixas temperaturas médias (12,75 °C) (Tabela 5) desde os primeiros estágios de desenvolvimento (de 3 de junho até 7 de agosto), na casa de vegetação, assim como no campo.

A interação entre as rizobactérias e as plantas pode resultar em efeitos neutros para alguns parâmetros da planta, porém benéficos ou antagônico para outros (BUTTERY; PARK; FINDLAY, 1987; CHAVES et al., 2003; HASAN et al., 2014). Assim, mesmo não tendo alterado o crescimento vegetal, a inoculação por *R. tropici* poderia ter alterado a resistência

das plantas de feijão. Considerando a abundância dos insetos herbívoros nas plantas nas duas estações, a inoculação não interferiu na resistência de *P. vulgaris*. Apesar de não haver diferença estatística, observamos que plantas inoculadas por *R. tropici* foram quase 2 vezes menos visitadas por insetos herbívoros do que plantas não inoculadas na estação seca. Já na estação chuvosa, não foi observada a mesma tendência entre os tratamentos. Entre as estações, verificamos que a abundância dos insetos foi maior na estação seca, apesar da temperatura média ter sido mais baixa do que na estação chuvosa. Uma das possíveis causas pode ser as fortes chuvas que prejudicaram a chegada dos insetos (PELLEGRINO et al. 2013). Durante as observações, a precipitação pluviométrica foi de 53,6 mm na estação chuvosa, ou seja, 23 vezes maior que ao período das observações durante a estação seca, que foi de apenas 2,3 mm (Tabelas 5 e 6). Apesar da diferença na abundância de insetos entre as estações (Figura 4), a espécie predominante das coletas nas duas estações foi o tripses *Caliothrips phaseoli* (Hood) (Thysanoptera: Thripidae) (Tabelas 3 e 4), que não está entre as espécies de tripses mais encontrada em plantios de feijão no Brasil. As espécies mais frequentes são *Thrips palmi* (Karny), *Caliothrips brasiliensis* (Morgan), *Thrips tabaci* (Lindeman) e *Frankliniella* sp., porém, não foram tão abundantes quanto o *C. phaseoli*. Como não havia plantios de feijão nos arredores da área experimental, além de não haver histórico de plantios, isso provavelmente refletiu na dominância de espécies (BAILEY et al., 1933; QUINTELA et al., 2001; KASINA et al. 2009; BOIÇA JÚNIOR et al, 2015; EMBRAPA, 2020).

Os estudos sobre resistência das plantas conferida pela colonização de rizobactérias mostram efeitos variáveis, que podem ser positivos, negativos ou neutros (RADLEY; HOLL, 1991; EDWARDS; YOUNG; FITTER, 1998; VAN LOON, 2007; VAN OOSTEN, 2008; MAFIA et al., 2009; PONEDA et al., 2012; CHANWAY ;VOLPIANO et al., 2019). Entre os compostos de defesa, os fenóis atuam como defesa tanto contra fitopatógenos quanto herbívoros (LEVIN, 1976; NICHOLSON; HAMMERSCHMIDT, 1992; VDIUSHKO; YE; KUC, 1993; LAVANIA et al., 2006; REHMAN; KHAN; BADRUDDIN, 2012), e mensuramos como um grupo fitoquímico *proxy* das defesas. Nossos resultados mostram que a inoculação por *R. tropici* reduziu o conteúdo de fenóis totais das plantas de feijão, anteriormente à transferência ao campo, indicando uma menor resistência das plantas (Figura 2). No entanto, sob condições naturais, não houve evidências claras que a inoculação *R. tropici* alterou a resistência das plantas de feijão e os níveis de fenóis foram iguais entre os tratamentos (Figura 3). Assim, os fenóis totais constitutivos e induzidos não explicaram os efeitos da rizobactéria na resistência das plantas de feijão contra herbívoros.

Os compostos fenólicos podem influenciar o estabelecimento da interação simbiótica entre leguminosas e rizobactérias devido ao seu indutor do gene da nodulação (MANDAL; CHAKRABORTY; DEY, 2010). Por isso, o reduzido nível de fenóis constitutivos no início do desenvolvimento das plantas inoculadas pode ter influenciado na nodulação e, conseqüentemente, no processo de colonização e estabilização das rizobactérias nas plantas. Essa hipótese deve ser melhor investigada em estudos futuros que avaliem a colonização da bactéria ao longo do desenvolvimento da planta de feijão.

A grande parte dos insetos herbívoros coletados nas duas estações pertencia à guilda alimentar dos insetos sugadores (aproximadamente 93%) (Tabelas 3 e 4), e os demais à guilda de herbívoros mastigadores. Alguns autores trabalharam com a hipótese de que essa resistência induzida das plantas pelas rizobactérias não é tão eficaz em insetos sugadores comparados a insetos mastigadores (VAN OOSTEN et al., 2008; HARTLEY; GANGE, 2009; KEMPEL; BRANDL; SCHÄDLER, 2009; KORICHEVA; GANGE; JONES, 2009; MAURYA et al., 2015). Os insetos que se alimentam do floema das plantas podem ser beneficiados pela interação planta e rizobactérias, pois o conteúdo de nutrientes e, em especial, aminoácidos na seiva, é elevado, tornando as plantas mais atrativas aos sugadores (VAN OOSTEN et al., 2008; DEAN et al. 2014). Além disso, as plantas inoculadas têm maior absorção de água e nutrientes e isso contribui para uma recuperação mais rápida do tecido vegetal perdido durante a herbivoria, acontece à compensação dessa perda vegetal de forma mais rápida (KEMPEL; BRANDL; SCHÄDLER, 2009). Assim, é necessário verificar se a inoculação por *R. tropici* altera o conteúdo nutricional da planta (metabólitos primários) e verificar separadamente se os efeitos da inoculação são semelhantes entre herbívoros sugadores e mastigadores.

O nosso estudo mostra que a inoculação por *R. tropici* teve discretos efeitos positivos na resistência contra herbívoros e reprodução, porém esses efeitos parecem ser dependentes da estação. Como os resultados foram incongruentes com a literatura, que mostra efeitos positivos sobre o crescimento e produtividade (YADEGAR et al., 2010; KUMAR; DUBEY, 2012; KEMKA; CHINAKWE; EGBADON, 2016), são necessários mais estudos considerando mais repetições nas estações e em diferentes áreas para concluir sobre a dependência dos efeitos em relação às estações. A maior parte dos estudos envolvendo a interação entre as plantas, rizobactérias e insetos herbívoros foram realizados em laboratório em condições controladas (NELSON, 2004; HARTLEY; GANGE, 2009; HASAN et al., 2014). No campo, há uma diversidade de fatores que interagem e resultam em resultados diferentes daqueles

comprovados em laboratório. Nós escolhemos trabalhar em campo tentando controlar parcialmente esses fatores devido à necessidade de obter informações mais próximas das condições reais.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos o apoio do Laboratório de Microbiologia Agrícola da Universidade Federal de Lavras, coordenado pela Prof. Fátima Maria de Souza Moreira, por ter cedido a rizobactéria CIAT 899 utilizada em todo trabalho. Agradecemos também ao Prof. Luís Cláudio Paterno Silveira, Cleber Rodas, Gabriel Dalton, Lívia Souza, Fernanda Moreira e Dâmiany Oliveira pela assistência técnica e científica.

REFERÊNCIAS

- Acomp. safra bras. grãos, **Safra 2018/19 - Décimo segundo levantamento**, Brasília, v.6, p.1-47 setembro 2019.
- ADESEMOYE, A. O.; TORBERT, H. A.; KLOEPPER, J. W. Increased plant uptake of nitrogen from ¹⁵N-depleted fertilizer using plant growth-promoting rhizobacteria. **Applied Soil Ecology**, v.46, n.1, p.54-58, 2010.
- AGRAWAL, A. A. Induced responses to herbivory and increased plant performance. **Science**, v.279, n.5354, p.1201-1202, 1998.
- AGRAWAL, A. A. Induced responses to herbivory in wild radish: effects on several herbivores and plant fitness. **Ecology**, v.80, n.5, p. 1713-1723, 1999.
- AKKÖPRÜ, A.; DEMIR, S. Biological control of Fusarium wilt in tomato caused by Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici by AMF Glomus intraradices and some rhizobacteria. **Journal of Phytopathology**, v.153, n.9, p.544-550, 2005.
- ANDRADE, G.; AZCÓN, R.; BETHLENFALVAY, G. J. A rhizobacterium modifies plant and soil responses to the mycorrhizal fungus Glomus mosseae. **Applied Soil Ecology**, v.2, n.3, p.195-202, 1995.
- ANDRAUS, M. P.; CARDOSO, A. A.; FERREIRA, E.P.B. Differences in nodulation and grain yield on common bean cultivars with different growth cycles. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.47, n.9, p.1148-1161, 2016.
- AVDIUSHKO, S. A.; YE, X. S.; KUC, J. Detection of several enzymatic activities in leaf prints of cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.42, n.6, p.441-454, 1993.
- BACKER, R. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in plant science**, v.9, p.1473, 2018.
- BAILEY, J. A.; BURDEN, R. S. Biochemical changes and phytoalexin accumulation in Phaseolus vulgaris following cellular browning caused by tobacco necrosis virus. **Physiological Plant Pathology**, v.3, n.2, p.171-177, 1973.
- BAILEY, S., et al. The biology of the bean thrips. **Hilgardia**, v.7, n.12, p.467-522, 1933.
- Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – **BDMEP**. Disponível em: link <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acessado em: 24 de janeiro de 2020.
- BARGAZ, A. et al. Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. **Frontiers in Microbiology**, v.9, p.1606, 2018.
- BOIÇA JÚNIOR, A. L. et al. Infestation of Caliothrips phaseoli (Thysanoptera: Thripidae) on bean cultivars grown in the winter, rainy, and dry seasons in Brazil. **Environmental Entomology**, v.44, n.4, p.1139-1148, 2015.

BRASIL. Instrução Normativa SDA no 13, de 24 de março de 2011. Aprova as normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura, bem como as relações dos micro-organismos autorizados e recomendados para produção de inoculantes no Brasil, na forma dos Anexos I, II e III, desta Instrução Normativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n.58, 25 mar. 2011.

BRUCE, T. J.; PICKETT, J. A. Plant defence signalling induced by biotic attacks. **Current Opinion in Plant Biology**, v.10, n.4, p.387–392, 2007.

BRUINSMA, M. et al. Folivory affects composition of nectar, floral odor and modifies pollinator behavior. **Journal of Chemical Ecology**, v.40, n.1, p.39-49, 2014.

BUTTERY, B. R.; PARK, S. J.; FINDLAY, W. I. Growth and yield of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in response to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer and to inoculation with *Rhizobium*. **Canadian Journal of Plant Science**, v.67, n.2, p.425-432, 1987.

CAVALLERI, A.; MOUND, L. **Toward the identification of *Frankliniella* species in Brazil (Thysanoptera, Thripidae)**. *Zootaxa*, v.3270, p.1–30, 2012.

CHANWAY, C. P.; RADLEY, R. A.; HOLL, F. B. Inoculation of conifer seed with plant growth promoting *Bacillus* strains causes increased seedling emergence and biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, n.6, p.575-580, 1991.

CHAUDHARY, A. et al. Plant defenses against herbivorous insects: A Review. **IJCS**, v.6, n.5, p.681-688, 2018.

CHAVES, L. L. B. et al. Efeitos da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada na produção de mudas de *Sesbania* em substrato constituído de resíduos agroindustriais. **Revista Árvore**, v. 27, n.4, p.443-449, 2003.

CIPOLLINI, D. ; PURRINGTON, C. B.; BERGELSON, J. Costs of induced responses in plants. **Basic and Applied Ecology**, v.4, n.1, p.79-89, 2003. Custo baixo de defesas induzidas

CONRATH, U. et al. Priming: getting ready for battle. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v.19, n.10, p.1062-1071, 2006.

CRAMER, C. L. et al. Síntese coordenada de enzimas biossintéticas de fitoalexina em células de feijão com estresse biológico (*Phaseolus vulgaris* L.). **The EMBO Journal**, v.4, n.2, p.285-289, 1985.

CROSSLAND, N. O.; LA POINT, T. W. The design of mesocosm experiments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.11, n.1, p.1-4, 1992.

Dean, J. M., Mescher, M. C., & De Moraes, C. M. Plant dependence on rhizobia for nitrogen influences induced plant defenses and herbivore performance. **International Journal of Molecular Sciences**, v.15, n.1, 1466-1480, 2014.

EDWARDS, S. G.; YOUNG, J. P. W.; FITTER, A. H. Interactions between *Pseudomonas fluorescens* biocontrol agents and *Glomus mosseae*, an arbuscular mycorrhizal fungus, within the rhizosphere. **FEMS Microbiology Letters**, v.166, n.2, p.297-303, 1998.

EMBRAPA. Agência de Informação Embrapa. [Home page]. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_99_1311200215105.html. Acesso em: 31 jan. 2020.

FERREIRA, L. de V. M. et al. Growth promotion of common bean and genetic diversity of bacteria from Amazon pastureland. **Scientia Agricola**, v.75, n.6, p.461-469, 2018.

FERREIRA, P. A. A. et al. Inoculação com cepas de rizóbio na cultura do feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 7, p. 2210-2212, 2009.

FIGUEIREDO, M. V. B. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria for improving nodulation and nitrogen fixation in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.24, n.7, p.1187-1193, 2008.

FONSECA, G. G. et al. Resposta de cultivares de feijoeiro-comum à inoculação das sementes com duas estirpes de rizóbio. **Bioscience Journal**, v.29, n.6, 2013.

GRAHAM, P. H. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: a review. **Field Crops Research**, v.4, p.93-112, 1981.

GRAHAM, P. H. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: a review. **Field Crops Research**, v.4, p.93-112, 1981.

GRAHAM, P. H.; HALLIDAY, J. Inoculation and nitrogen fixation in the genus *Phaseolus*. **Exploiting the Legume-Rhizobium Symbiosis in Tropical Agriculture**, v.145, 1977.

HARDARSON, G.; DANSO, S. K. A. Methods for measuring biological nitrogen fixation in grain legumes. **Plant and Soil**, v.152, n.1, p.19-23, 1993.

HARGREAVES, J. A.; BAILEY, J. A. Phytoalexin production by hypocotyls of *Phaseolus vulgaris* in response to constitutive metabolites released by damaged bean cells. **Physiological Plant Pathology**, v.13, n.1, p.89-100, 1978.

HARTLEY, S. E.; GANGE, A. C. Impacts of plant symbiotic fungi on insect herbivores: mutualism in a multitrophic context. **Annual Review of Entomology**, v.54, p.323-342, 2009.

HASAN, M. et al. Enhancement of rice growth and production of growth-promoting phytohormones by inoculation with *Rhizobium* and other rhizobacteria. **World Applied Sciences Journal**, v.31, n.10, p.1734-1743, 2014.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium tropici* strains. **Biology and Fertility of Soils**, v.39, n.2, p.88-93, 2003.

IGIEHON, N. O.; BABALOLA, O. O. Below-ground-above-ground plant-microbial interactions: focusing on soybean, rhizobacteria and mycorrhizal fungi. **The Open Microbiology Journal**, v.12, p.261, 2018.

JAHANIAN, A., et al. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination and primary growth of artichoke (*Cynara scolymus*). **International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)**, v.4, n.14, p.923-929, 2012.

JUNG, S. C. et al. Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses. **Journal of Chemical Ecology**, v.38, n.6, p.651-664, 2012.

JUNG, S. C. et al. Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses. **Journal of Chemical Ecology**, v.38, n.6, p.651-664, 2012.

KARBAN, R.; BALDWIN, I. T. **Induced Responses to Herbivory**. Chicago: The University Of Chicago Press, 1997. 330 p.

KARBAN, R.; MYERS, J. H. Induced plant responses to herbivory. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.20, n.1, p.331-348, 1989.

KASINA, M. et al. Within-plant distribution and seasonal population dynamics of flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) infesting French beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Kenya. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.7, n.3, p.652-659, 2009.

KAWAKA, F. et al. Symbiotic efficiency of native rhizobia nodulating common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in soils of Western Kenya. **International Scholarly Research Notices**, 2014.

KEMKA, U.; CHINAKWE, E.; EGBADON, E. Enhancement potential of plant growth-promoting rhizobacteria on white beans (*Phaseolus vulgaris*) seedlings. **International Letters of Natural Sciences**, v.57, 2016.

KEMPEL, A. et al. Tradeoffs associated with constitutive and induced plant resistance against herbivory. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.108, n.14, p.5685-5689, 2011.

KEMPEL, A.; BRANDL, R.; SCHÄDLER, M. Symbiotic soil microorganisms as players in aboveground plant–herbivore interactions—the role of rhizobia. **Oikos**, v.118, n.4, p.634-640, 2009.

KESSLER, A.; BALDWIN, I. T. Plant responses to insect herbivory: The emerging molecular analysis. **Annual Review of Plant Biology**, v.53, n.1, p.299–328, 2002.

KORICHEVA, J.; GANGE, A. C.; JONES, T. Effects of mycorrhizal fungi on insect herbivores: a meta-analysis. **Ecology**, v.90, n.8, p.2088-2097, 2009.

KUMAR, A. et al. Co-inoculation with *Enterobacter* and Rhizobacteria on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) in the alluvial soil under indo-gangetic plain of India. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.36, n.3, p.608-617, 2017.

KUMAR, A. et al. Does a plant growth-promoting rhizobacteria enhance agricultural sustainability. **J Pure Appl Microbiol**, v.9, n.1, p.715-724, 2015.

KUMAR, P.; DUBEY, R. C. Plant growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens and yield enhancement of *Phaseolus vulgaris*. **J Curr Pers Appl Microbiol**, v.1, n.6, p.38, 2012.

LATTANZIO, V.; LATTANZIO, V. M.; CARDINALI, A. Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. **Phytochemistry: Advances in research**, v.661, n.2, p.23-67, 2006.

LAVANIA, M. et al. Induction of plant defense enzymes and phenolics by treatment with plant growth–promoting rhizobacteria *Serratia marcescens* NBRI1213. **Current Microbiology**, v.52, n.5, p.363-368, 2006.

LEITNER, M.; BOLAND, W.; MITHÖFER, A. Direct and indirect defences induced by piercing-sucking and chewing herbivores in *Medicago truncatula*. **New Phytologist**, v.167, n.2, p.597-606, 2005.

- LEVIN, D. A. As defesas químicas das plantas para patógenos e herbívoros. **Revisão anual de Ecology and Systematics**, v.7, n.1, p.121-159, 1976.
- LINDIG-CISNEROS, R.; DIRZO, R.; ESPINOSA-GARCÍA, F. J. Effects of domestication and agronomic selection on phytoalexin antifungal defense in Phaseolus beans. **Ecological Research**, v.17, n.3, p.315-321, 2002.
- LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. **Annual Review of Microbiology**, v.63, p.541-556, 2009.
- MAFIA, R. G. et al. Root colonization and interaction among growth promoting rhizobacteria isolates and eucalypts species. **Revista Árvore**, v.33, n.1, p.1-9, 2009.
- MANDAL, S. M.; CHAKRABORTY, D.; DEY, S. Phenolic acids act as signaling molecules in plant-microbe symbioses. **Plant Signaling & Behavior**, v.5, n.4, p.359-368, 2010.
- MARTINS, S. J. et al. Biological control of bacterial wilt of common bean by plant growth-promoting rhizobacteria. **Biological Control**, v.66, n.1, p.65-71, 2013.
- MAURYA, A. K. et al. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters plant gene expression and aphid weight in a tripartite interaction. **Journal of Plant Interactions**, v.13, n.1, p.294-305, 2018.
- MAZID, M. et al. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. **Biology and Medicine**, v.3, n.2, p.232-249, 2011.
- MCCALL, A. C. et al. Leaf herbivory induces resistance against florivores in *Raphanus sativus*. **Botany**, v.96, n.5, p.337-343, 2018.
- MORAN, P. J.; THOMPSON, G. A. Molecular responses to aphid feeding in *Arabidopsis* in relation to plant defense pathways. **Plant Physiology**, v. 125, n. 2, p. 1074–85, 2001.
- MOUND, L.A.; KIBBY G. **Thysanoptera: An identification guide (second edition)**. Wallingford, CAB, 1998.
- MOUND, L.A; MARULLO, R. **The Thrips of central and south america: an introduction (insecta:Thysanoptera)**. 6° Volume. Florida: Associated Publishers, 1966.
- NANNIPIERI, P.; BADALUCCO, L. Biological processes. In '**Handbook of processes in the soil–plant system: modelling concepts and applications**'.(Eds DK Bembi, R Nieder), p. 57–76, 2003.
- NASEER, I. et al. Rhizobial Inoculants for Sustainable Agriculture: Prospects and Applications. In: **Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment**. Springer, p. 245-283, 2019.
- NELSON, L. M. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Prospects for new inoculants. **Crop Management**, v.3, n.1, 2004.
- NICHOLSON, R. L.; HAMMERSCHMIDT, R. Compostos fenólicos e seu papel na resistência a doenças. **Revisão anual de Fitopatologia**, v.30, n.1, p.369-389, 1992.
- OOMAH, B. D.; CARDADOR-MARTÍNEZ, A.; LOARCA-PIÑA, G. Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, n.6, p.935-942, 2005.

- OZTURK, A.; CAGLAR, O.; SAHIN, F. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.166, n.2, p.262-266, 2003.
- PEIX, A. et al. Bacterial associations with legumes. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.34, n.1-3, p.17-42, 2015.
- Pellegrino, A. C., Peñaflor, M. F. G. V., Nardi, C., Bezner-Kerr, W., Guglielmo, C. G., Bento, J. M. S., & McNeil, J. N. Weather forecasting by insects: modified sexual behaviour in response to atmospheric pressure changes. **PLoS One**, v.8, n.10, 2013.
- PIETERSE, C. M. J. et al. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v.52, p.347-375, 2014.
- PIETERSE, C. M. J. et al. Rhizobacteria-mediated induced systemic resistance (ISR) in *Arabidopsis* requires sensitivity to jasmonate and ethylene but is not accompanied by an increase in their production. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.57, n.3, p.123-134, 2000.
- PIETERSE, C. M. J.; DICKE, M. Plant interactions with microbes and insects: from molecular mechanisms to ecology. **Trends in Plant Science**, v.12, n.12, p.564–569, 2007.
- PINEDA, A. et al. Beneficial microbes in a changing environment: are they always helping plants to deal with insects? **Functional Ecology**, v.27, n.3, p.574-586, 2013.
- PINEDA, A. et al. Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. **Trends in plant science**, v.15, n.9, p.507-514, 2010.
- PINEDA, A. et al. As rizobactérias modificam as interações planta-pulgão: um caso de suscetibilidade sistêmica induzida. **Plant Biology**, v.14, p.83-90, 2012.
- PRICE, P. W. et al. Interactions among three trophic levels: influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. **Annual Review of Ecology and Systematics, Palo Alto**, v. 11, p. 41-65, nov. 1980.
- QUINTELA, E. D. Manejo integrado de pragas do feijoeiro. **Embrapa Arroz e Feijão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2001.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017.
- RAFAEL, J. A. et al. (Eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, 2012.
- RAHE, Je E. et al. Correlation of phenolic metabolism with histological changes in *Phaseolus vulgaris* inoculated with fungi. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v.75, n.1-2, p.58-71, 1969.
- RASMANN, S. et al. Root symbionts: Powerful drivers of plant above-and belowground indirect defenses. **Insect Science**, v.24, n.6, p.947-960, 2017.
- RATHMELL, W. G.; BENDALL, D. S. Phenolic compounds in relation to phytoalexin biosynthesis in hypocotyls of *Phaseolus vulgaris*. **Physiological Plant Pathology**, v.1, n.3, p.351-362, 1971.

- REHMAN, F.; KHAN, F. A.; BADRUDDIN, S. M. A. Role of phenolics in plant defense against insect herbivory. In: **Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 309-313, 2012.
- REYMOND, P.; FARMER, E. E. Jasmonate and salicylate as global signals for defense gene expression. **Current Opinion in Plant Biology**, v.1, n.5, p.404–411, 1998.
- SIMONSEN, A. K. et al. Short-term fertilizer application alters phenotypic traits of symbiotic nitrogen fixing bacteria. **PeerJ**, v.3: p.e1291, 2015.
- SOARES, A. L. L. et al. Agronomic efficiency of selected rhizobia strains and diversity of native nodulating populations in Perdões (MG-Brazil): II-beans. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.5, p.803-811, 2006.
- SOARES, A. L. L. et al. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG) (II): feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 803-811, 2006.
- SOARES, B. L. et al. Agronomic and economic efficiency of common-bean inoculation with rhizobia and mineral nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, 2016.
- SOARES, B. L. et al. Agronomic and economic efficiency of common-bean inoculation with rhizobia and mineral nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.
- SPANOS, G. A.; WROLSTAD, R. E. Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson seedless grape juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.38, n.7, p.1565-1571, 1990.
- STARKEY, R. L. Some Influences of the Development of Higher Plants Upon the Microorganisms in the Soil: IV. Influence of Proximity to Roots on Abundance and Activity of Microorganisms. **Soil Science**, v.32, n.5, p.367-394, 1931.
- STEWART, R. I. A. et al. Mesocosm experiments as a tool for ecological climate-change research. In: **Advances in Ecological Research**. Academic Press, p.71-181, 2013.
- THALER, J. S.; HUMPHREY, P. T.; WHITEMAN, N. K. Evolution of jasmonate and salicylate signal crosstalk. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 5, p. 260–270, 2012.
- TORSVIK, V.; SØRHEIM, R.; GOKSØYR, J. Total bacterial diversity in soil and sediment communities—a review. **Journal of Industrial Microbiology**, v.17, n.3-4, p.170-178, 1996.
- VACHERON, J. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in plant science**, v.4, p.356, 2013.
- VAN DER ENT, S.; VAN WEES, S. C. M.; PIETERSE, C. M. J. Jasmonate signaling in plant interactions with resistance-inducing beneficial microbes. **Phytochemistry**, v.70, n.13-14, p.1581-1588, 2009.
- VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; BARDGETT, R. D.; VAN STRAALLEN, N. M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, v.11, n.3, p.296-310, 2008.

- VAN LOON, L. C. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. In: **New perspectives and approaches in plant growth-promoting Rhizobacteria research**. Springer, Dordrecht. p. 243-254, 2007.
- VAN LOON, L. C.; BAKKER, P. A. H. M.; PIETERSE, C. M. J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, v.36, n.1, p.453-483, 1998.
- VAN OOSTEN, V. R. et al. Differential effectiveness of microbially induced resistance against herbivorous insects in Arabidopsis. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v.21, n.7, p.919-930, 2008.
- VARGAS A. A. T. et al. Comparação entre genótipos de feijão quanto à capacidade nodulante e à produtividade com inoculação com rizóbio e/ou adubação mineral. *Rev Bras Cienc Solo* v.15, p.267–272, 1991.
- VARGAS, M. A. T; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M. Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to Rhizobium inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.32, n.3, p.228-233, 2000.
- VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and soil**, v.255, n .2, p.571-586, 2003.
- VOLPIANO, C. G. et al. Rhizobia for biological control of plant diseases. In: **Microbiome in plant health and disease**. Springer, Singapore, p.315-336, 2019.
- WALLING, L. L. Avoiding effective defenses: strategies employed by phloem-feeding insects. **Plant Physiology**, v. 146, n. 3, p. 859–866, 2008.
- WEESE, D. J. et al. Long-term nitrogen addition causes the evolution of less-cooperative mutualists. **Evolution**, v.69, n.3, p.631-642, 2015.
- WHITMAN, W. B.; COLEMAN, D. C.; WIEBE, W. J. Prokaryotes: the unseen majority. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.95, n.12, p.6578-6583, 1998.
- WITTSTOCK, U.; GERSHENZON, J. Constitutive plant toxins and their role in defense against herbivores and pathogens. **Current Opinion in Plant Biology**, v.5, n.4, p.300-307, 2002.
- XU, B.; CHANG, S. K. C. Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, n.11, p.4754-4764, 2009.
- YADEGARI, M. et al. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, n.12, p.1733-1743, 2010.
- YADEGARI, M., et al. Evaluation of bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds inoculation with *Rhizobium phaseoli* and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components. **Pak J Biol Sci**, v.11, n.15, p.1935-9, 2008.
- YADEGARI, M., et al. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, n.12, p.1733-1743, 2010.

YOKOYAMA, L. P. Tendências de mercado e alternativas de comercialização do feijão.
Embrapa Arroz e Feijão, 2002.

TABELAS

Tabela 1. Parâmetros de crescimento da planta de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculada por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculada (controle), nas estações seca e chuvosa. Os dados estatísticos da análise (df, *t* e *p*) foram obtidos pelo teste t de Student.

Variável	Estação	Controle Média±EP	<i>Rhizobium</i> Média±EP	df	<i>t</i>	<i>p</i>
Altura (m)	Seca ^{ns}	0,39±0,02	0,41±0,01	10	1,16	0,278
	Chuvosa ^{ns}	0,49±0,03	0,50±0,03	10	0,22	0,828
Altura com gavinha (m)	Seca ^{ns}	1,01±0,07	0,98±0,04	10	0,43	0,679
	Chuvosa ^{ns}	1,33±0,06	1,22±0,07	10	1,20	0,259
Biomassa de raiz (g)	Seca ^{ns}	0,55±0,05	0,58±0,08	10	0,29	0,776
	Chuvosa ^{ns}	1,57±0,12	1,85±0,25	10	0,98	0,348
Biomassa vegetativa (g)	Seca ^{ns}	0,28±0,02	0,34±0,03	10	1,58	0,145
	Chuvosa ^{ns}	7,13±0,70	7,57±0,57	10	0,49	0,635

^{ns} não significativo de acordo com o teste t de Student a 5%

Tabela 2. Parâmetros de estruturas reprodutivas da planta de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculada por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculada (controle), nas estações seca e chuvosa. Os dados estatísticos da análise (df, *t* e *p*) foram obtidos pelo teste t de Student.

Variável	Estação	Controle Média±EP	<i>Rhizobium</i> Média±EP	df	<i>t</i>	<i>P</i>
Número de flor	Seca*	3,10±0,26	4,87±0,40	10	3,71	0,004
	Chuvosa ^{ns}	8,33±0,99	8,16±0,79	10	0,13	0,898
Comprimento de flor (cm)	Seca ^{ns}	1,59±0,09	1,57±0,01	10	0,45	0,663
	Chuvosa ^{ns}	1,66±0,02	1,61±0,03	10	1,61	0,139
Diâmetro de flor (cm)	Seca ^{ns}	1,24±0,06	1,21±0,03	10	0,51	0,624
	Chuvosa ^{ns}	1,28±0,03	1,25±0,05	10	0,59	0,569
Abertura de flor (dias)	Seca ^{ns}	52,78±0,69	50,75±0,69	10	1,60	0,140
	Chuvosa ^{ns}	40,31±0,53	41,03±0,89	10	0,69	0,504
Número de vagens	Seca ^{ns}	2,33±0,27	2,62±0,36	10	0,63	0,542
	Chuvosa ^{ns}	3,5±0,72	4,16±0,60	10	0,71	0,493
Peso dos grãos (g)	Seca ^{ns}	0,98±0,08	1,21±0,16	10	1,30	0,224
	Chuvosa ^{ns}	2,28±0,34	2,13±0,30	10	0,33	0,751

^{ns} não significativo de acordo com o teste t de Student a 5%

* significativo de acordo com o teste t de Student a 5%

Tabela 3. Composição dos insetos herbívoros visitantes da planta de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculada por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculada (controle) na estação seca (JULHO/AGOSTO, 2019).

Insetos Coletados- Estação Seca					
Tratamento	Ordem	Família	Espécie	Guilda alimentar	Nº de indivíduos
Controle	Diptera	Muscidae	NI 3	Sugador	1
Controle	Diptera	Mycetophilidae	NI 4	Sugador	1
Controle	Hymenoptera	Trichogrammatidae	NI 6	Mastigador	1
Controle	Hymenoptera	Vespidae	<i>Mischocyttarus</i>	Mastigador	1
Controle	Coleoptera	Chrysomelidae	NI 10	Mastigador	1
Controle	Psocodea	Troctomorpha	NI 11	Sugador	1
Controle	Hemiptera	Aphididae	NI 12	Sugador	3
Controle	Hemiptera	Aphididae	NI 13	Sugador	7
Controle	Hemiptera	Heteroptera	NI 14	Sugador	1
Controle	Thysanoptera	Thripidae	<i>Caliothrips phaseoli</i> <i>Franklinothrips</i>	Sugador	89
Controle	Thysanoptera	Aeolothripidae	<i>vespiformis</i>	Predador	1
Controle	Thysanoptera	Thripidae	<i>Frankliniella insularis</i>	Sugador	1
Controle	Thysanoptera	Thripidae	<i>Frankliniella</i> NI 42	Sugador	1
Controle	Thysanoptera	Phlaeothripidae	Haplothrips NI 40	Sugador	1
Controle	Thysanoptera	Thripidae	<i>Frankliniella gardeniae</i>	Sugador	1
<i>Rhizobium</i>	Orthoptera	Tettigoniidae	NI 1	Mastigador	1
<i>Rhizobium</i>	Orthoptera	Tettigoniidae	NI 2	Mastigador	1
<i>Rhizobium</i>	Diptera	Muscidae	NI 3	Sugador	4
<i>Rhizobium</i>	Diptera	Mycetophilidae	NI 4	Sugador	1
<i>Rhizobium</i>	Diptera	Bibionidae	NI 5	Sugador	1
<i>Rhizobium</i>	Hymenoptera	Braconidae	NI 7	mastigador	1
<i>Rhizobium</i>	Coleoptera	Curculionidae	NI 8	Mastigador	1
<i>Rhizobium</i>	Coleoptera	Coccinellidae	NI 28	Mastigador	1
	Coleoptera	Bostrichidae	NI 9	Mastigador	

<i>Rhizobium</i>					1
<i>Rhizobium</i>	Hemiptera	Aphididae	NI 13	sugador	4
<i>Rhizobium</i>	Hemiptera	Aphididae	NI 12	Sugador	1
<i>Rhizobium</i>	Thysanoptera	Thripidae	<i>Caliothrips phaseoli</i>	Sugador	41

NI: Espécie não identificada.

Tabela 4. Composição dos insetos herbívoros visitantes da planta de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculada por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculada (controle) na estação chuvosa (OUTUBRO/NOVEMBRO, 2019).

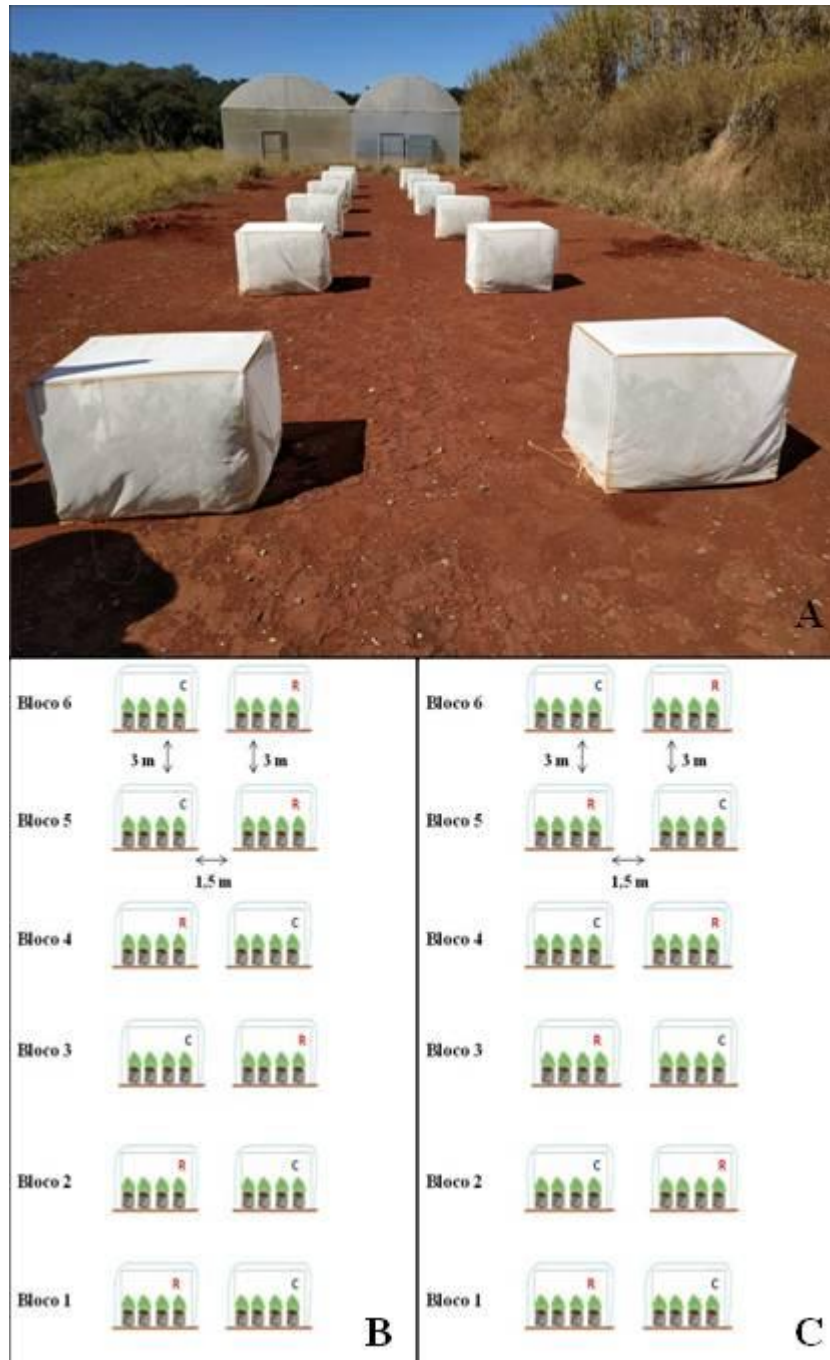
Insetos Coletados- Estação Chuvosa					
Tratamento	Ordem	Família	Espécie	Guilda alimentar	Nº de insetos
Controle	Orthoptera	Acrididae	NI 15	mastigador	1
Controle	Coleoptera	Staphylinidae	NI 29	mastigador	1
Controle	Dermaptera	Forficulidae	NI 39	mastigador	2
Controle	Hymenoptera	Eulophidae	NI 25	mastigador	1
Controle	Hymenoptera	Eulophidae	NI 26	mastigador	1
Controle	Hemiptera	Aphididae	NI 13	sugador	10
Controle	Hemiptera	Aphididae	NI 12	sugador	5
Controle	Hemiptera	Pentatomidae	NI 36	sugador	1
Controle	Hemiptera	Psyllidae	NI 38	sugador	2
Controle	Hemiptera	Psyllidae	NI 35	Sugador	1
Controle	Diptera	Mycetophilidae	NI 4	sugador	1
Controle	Diptera	Phoridae	NI 19	sugador	2
Controle	Diptera	Drosophilidae	NI 20	sugador	1
Controle	Diptera	Drosophilidae	NI 21	sugador	1
Controle	Diptera	Rhagionidae	NI 22	sugador	1
Controle	Thysanoptera	Thripidae	<i>Caliothrips phaseoli</i>	sugador	42
Controle	Thysanoptera	Thripidae	<i>Frankliniella insularis</i>	sugador	4
<i>Rhizobium</i>	Diptera	Syrphidae	NI 26	sugador	2
<i>Rhizobium</i>	Diptera	Syrphidae	NI 27	sugador	1
<i>Rhizobium</i>	Diptera	Drosophilidae	NI 28	sugador	2
<i>Rhizobium</i>	Diptera	Mycetophilidae	NI 4	Sugador	2
<i>Rhizobium</i>	Hymenoptera	Sphecidae	NI 24	mastigador	1
<i>Rhizobium</i>	Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Diabrotica speciosa</i>	mastigador	1
<i>Rhizobium</i>	Coleoptera	Coccinellidae	NI 27	mastigador	1

Tratamento	Ordem	Família	Espécie	Guilda alimentar	Nº de insetos
<i>Rhizobium</i>	Coleoptera	Chrysomelidae	NI 30	mastigador	1
<i>Rhizobium</i>	Hemiptera	Psyllidae	NI 37	Sugador	2
<i>Rhizobium</i>	Hemiptera	Cixiidae	NI 31	Sugador	1
<i>Rhizobium</i>	Hemiptera	Cercopidae	NI 32	Sugador	1
<i>Rhizobium</i>	Hemiptera	Pentatomidae	NI 34	Sugador	1
<i>Rhizobium</i>	Hemiptera	Coreidae	NI 33	Sugador	1
<i>Rhizobium</i>	Hemiptera	Aphididae	NI 13	Sugador	11
<i>Rhizobium</i>	Hemiptera	Aphididae	NI 12	Sugador	9
<i>Rhizobium</i>	Thysanoptera	Thripidae	<i>Caliothrips phaseoli</i>	Sugador	22
<i>Rhizobium</i>	Thysanoptera	Thripidae	<i>Frankliniella insularis</i>	Sugador	5
<i>Rhizobium</i>	Thysanoptera	Phlaeothripidae	Liothrips NI 41	Sugador	1

NI: Espécie não identificada.

FIGURAS

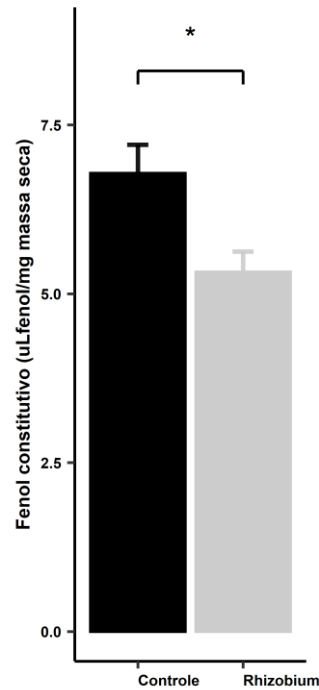
Figura 1 – Experimento de campo realizado em área experimental da UFLA.



Mesocosmos em campo. (A) Gaiolas de 0,75 m de comprimento x 0,50 m de largura envolvidas por sacos de *voile* contendo 4 plantas do mesmo tratamento. (B) Estrutura dos 12 mesocosmos, divididos em 6 blocos com distância de 3m entre eles. Cada bloco possuía uma repetição de cada tratamento, com distância de 1,5m. Representação do primeiro experimento no campo, onde **R** representa o tratamento inoculado por *R. tropici* e **C** as plantas não inoculadas. (C) Estrutura dos 12 mesocosmos e representação do segundo experimento no campo, onde **R** representa o tratamento inoculado por *R. tropici* e **C** as plantas não inoculadas.

Fonte: do autor (2020).

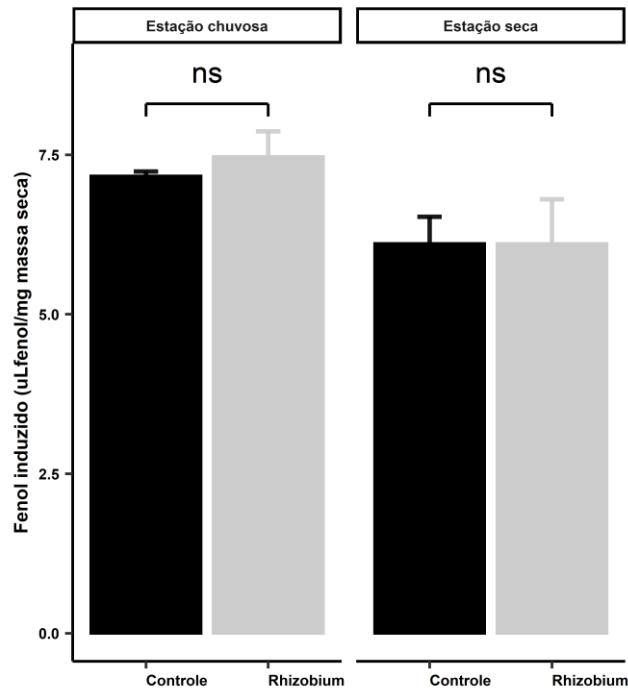
Figura 2 – Níveis de fenóis totais das folhas de plantas de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculadas por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculadas (controle).



Concentração média de fenol constitutivo (+ erro padrão, N = 12) em plantas de feijão inoculadas por *Rhizobium* e não inoculadas. A concentração de fenol foi significativamente maior no tratamento controle ($\chi^2 = 8.356$, d. f. = 1, $p = 0.003$). Foi utilizado GLM, teste da razão de verossimilhança. N = número de folhas analisadas; ** $P < 0,01$.

Fonte: do autor (2019).

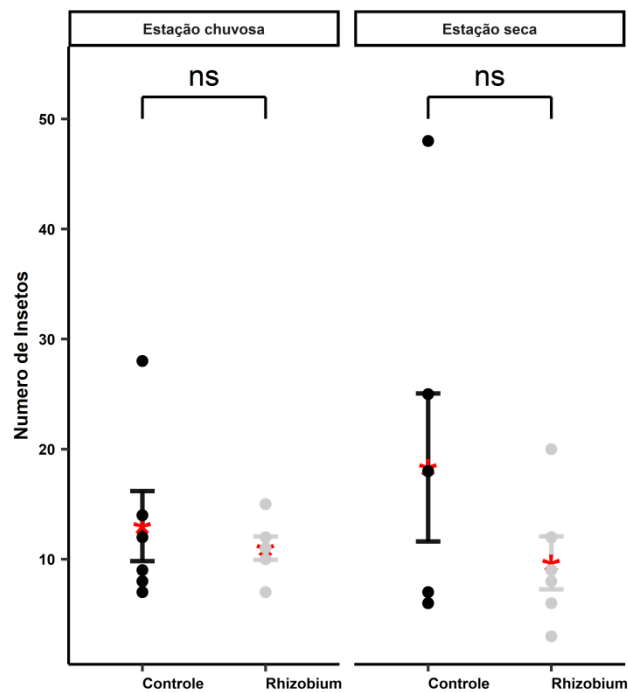
Figura 3 – Níveis de fenóis totais induzidos das folhas de plantas de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculadas por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculadas (controle), durante as estações chuvosa e seca.



Concentração média de fenol total induzido na estação chuvosa (+ erro padrão, N = 10) e seca (+ erro padrão, N = 12) em plantas de feijão inoculadas por *Rhizobium* e não inoculadas. Não houve diferença significativa na concentração de fenol induzido entre os tratamentos na estação chuvosa ($\chi^2 = 0.2565$, d. f. = 1, $p = 0.612$) e também não houve diferença significativa na estação seca significativa ($\chi^2 = 0.280$, d. f. = 1, $p = 0.596$). Foi utilizado GLM, teste da razão de verossimilhança. N = número de folhas analisadas; ns = não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Fonte: do autor (2020).

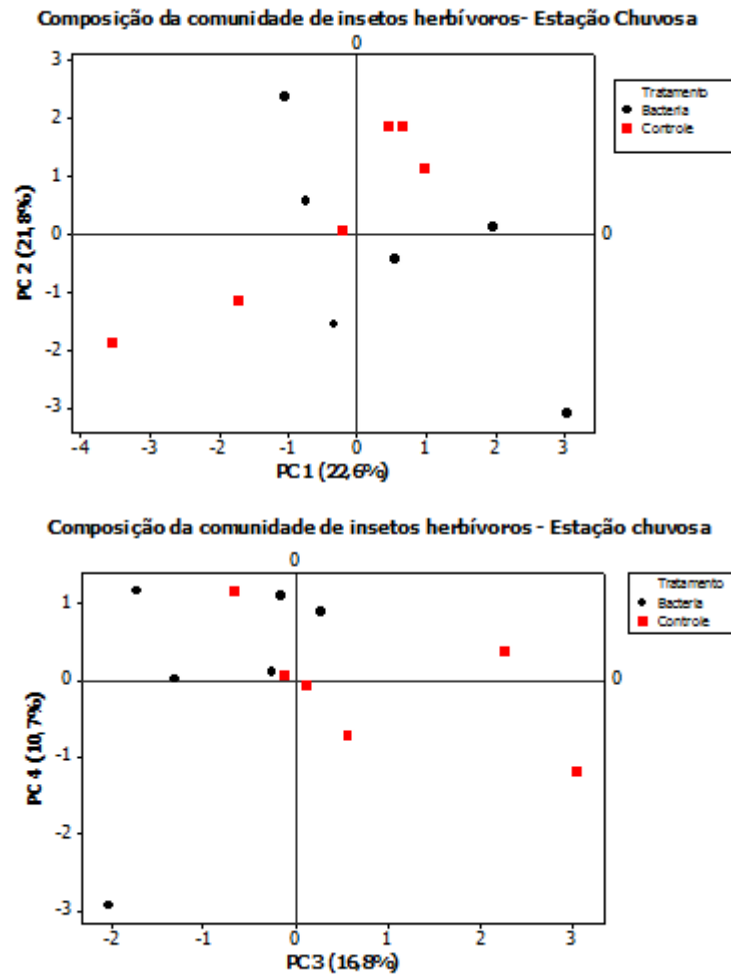
Figura 4- Abundância de insetos encontrados nas plantas de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculadas por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculadas (controle), durante as estações chuvosa e seca.



Número total de insetos encontrados na estação chuvosa (+ erro padrão, N = 12) e seca (+ erro padrão, N = 24) em plantas de feijão inoculadas por *Rhizobium* e não inoculadas. Não houve diferença significativa entre os tratamentos na estação chuvosa ($\chi^2 = 0.489$, d. f. = 1, $p = 0.481$) e também não houve diferença significativa na estação seca ($\chi^2 = 1.745$, d. f. = 1, $p = 0.186$). N = número de repetições por tratamento; ns= não houve diferença significativa.

Fonte: do autor (2020).

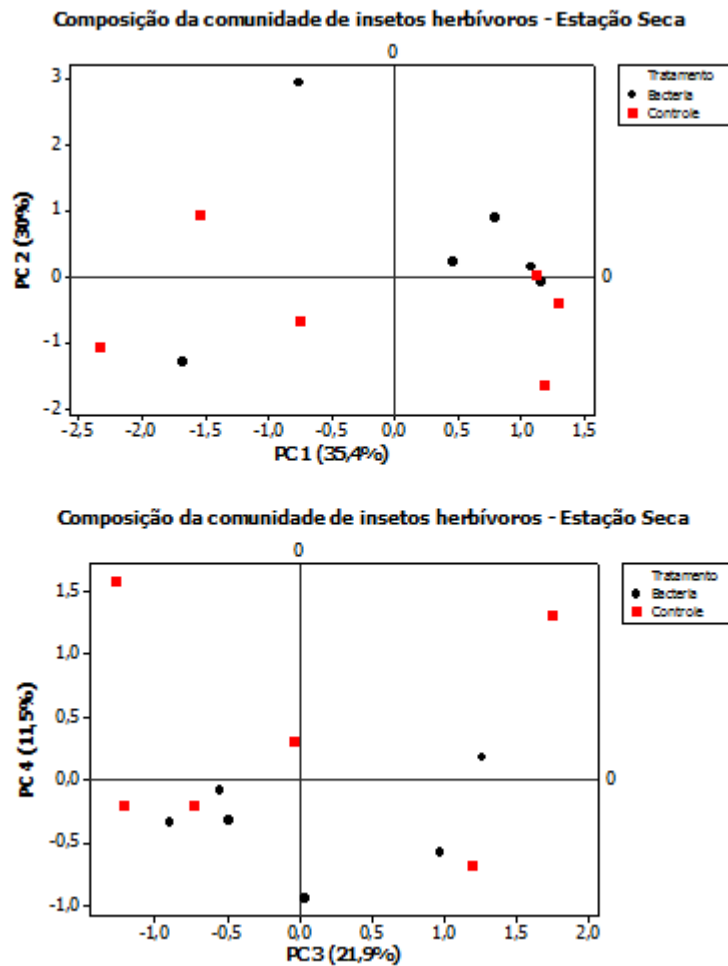
Figura 5- Composição da comunidade de insetos herbívoros foi analisada pela nas plantas de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculadas por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculadas (controle), durante a estação chuvosa.



A composição da comunidade de insetos herbívoros foi analisada pela Análise de Componentes Principais (ACP), na qual somente as espécies com frequência maior que 1 nas coletas foram consideradas como variáveis. A ACP revelou que não houve separação entre a composição de espécies de insetos herbívoros encontrados em plantas *Rhizobium* e não inoculadas, na estação chuvosa ao longo de 4 componentes.

Fonte: do autor (2020).

Figura 6- Composição da comunidade de insetos herbívoros foi analisada pela nas plantas de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculadas por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculadas (controle), durante a estação seca.



A composição da comunidade de insetos herbívoros foi analisada pela Análise de Componentes Principais (ACP), na qual somente as espécies com frequência maior que 1 nas coletas foram consideradas como variáveis. A ACP revelou que não houve separação entre a composição de espécies de insetos herbívoros encontrados em plantas *Rhizobium* e não inoculadas, na estação seca ao longo de 4 componentes.

Fonte: do autor (2020).

Figura 7 – *Caliothrips phaseoli* (Thysanoptera; Thripidae), o inseto mais abundante encontrado nas plantas de feijão *Phaseolus vulgaris* inoculadas por *Rhizobium tropici* (*Rhizobium*) e não inoculadas (controle), durante as estações chuvosa e seca.



Foto do inseto *Caliothrips phaseoli* (Thysanoptera; Thripidae) coletado em planta de feijão *Phaseolus vulgaris*.

Fonte: do autor (2020).

ANEXOS

Tabela 5. Dados meteorológicos da estação seca, coletados na estação meteorológica convencional (INMET) situada na cidade de Lavras (próxima ao Departamento de Ciências do Solo- UFLA), localizada no sul do estado de Minas Gerais, na mesorregião do Campo das Vertentes, com latitude 21° 14' S, longitude 45°00' W e altitude 918,84 m. Os dados foram coletados em todo período do experimento (estação seca e chuvosa).

Precipitação e temperatura- Estação seca			
Data	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C
03/06/2019	0	27	16.2
04/06/2019	2.6	22.6	12.8
05/06/2019	0	20.6	8.6
06/06/2019	0	22.2	11
07/06/2019	0	22.8	11.2
08/06/2019	0	22.3	9.9
09/06/2019	0	22.6	11
10/06/2019	0	23.6	10.7
11/06/2019	0	23.8	13.5
12/06/2019	0	25.6	14.8
13/06/2019	0	26.2	15.7
14/06/2019	0	26	13.9
15/06/2019	0	26.2	15.2
16/06/2019	0	25.5	14.1
17/06/2019	0	24.2	13.5
18/06/2019	0	25	12.2
19/06/2019	0	24.8	13.4
20/06/2019	0	26.3	11.7
21/06/2019	0	24	13.5
22/06/2019	0	23.6	15.1
23/06/2019	0	24.6	13.4
24/06/2019	0	25	10.5
25/06/2019	0	26.4	11.6
26/06/2019	0	27.8	16
27/06/2019	0	27.4	13.9
28/06/2019	0	27.4	14.6
29/06/2019	0	27.4	13
30/06/2019	0	26.2	12.9
01/07/2019	0	26.4	11.2
02/07/2019	0	25.8	11.3
03/07/2019	0	26.6	12.2
04/07/2019	0	27.4	11.8
05/07/2019	7	22.2	16.1

Data	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C
06/07/2019	0	19.6	9.2
07/07/2019	0	19.6	4.9
08/07/2019	0	20.6	6.1
09/07/2019	0	21	8.3
10/07/2019	0	23	8.2
11/07/2019	0	23.2	7.2
12/07/2019	0	25.6	8.2
13/07/2019	0	27.2	9.5
14/07/2019	0	27.4	11.3
15/07/2019	0	27.8	11.2
16/07/2019	0	26	13.8
18/07/2019	0	20.6	8.6
19/07/2019	0	22.8	9.7
20/07/2019	0	23	10.4
21/07/2019	0	23.8	11.1
22/07/2019	0	25.4	11.6
23/07/2019	0	26.6	11.3
24/07/2019	0	27.2	10.5
25/07/2019	0	27.4	12.1
26/07/2019	0	25.8	14.6
27/07/2019	0	26.2	10.9
28/07/2019	0	26	10.9
29/07/2019	0	25.6	12.1
30/07/2019	0	26.5	13.1
31/07/2019	2.2	27	12.3
01/08/2019	0	28.4	13.4
02/08/2019	0	29.6	13.1
03/08/2019	0	24.6	14.8
04/08/2019	0	18	13.2
05/08/2019	0.1	19.4	11.6
06/08/2019	0	23	13.3
07/08/2019	0	24.6	13.6

Tabela 6. Dados meteorológicos da estação chuvosa, coletados na estação meteorológica convencional (INMET) situada na cidade de Lavras (próxima ao Departamento de Ciências do Solo- UFLA), localizada no sul do estado de Minas Gerais, na mesorregião do Campo das Vertentes, com latitude 21° 14' S, longitude 45°00' W e altitude 918,84 m. Os dados foram coletados em todo período do experimento (estação seca e chuvosa).

Precipitação e temperatura- Estação chuvosa			
Data	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C
10/09/2019	0	32.8	13.8
11/09/2019	0	34.4	17.3
12/09/2019	0	35.5	17.3
13/09/2019	0	36.2	19.3
14/09/2019	0	31	17.9
15/09/2019	0	29.8	16.4
16/09/2019	0	32.6	16.7
17/09/2019	0	33.2	16.1
18/09/2019	0	34.2	16.7
19/09/2019	0	35	17.6
20/09/2019	0	35.2	19
21/09/2019	0	32.2	19.6
22/09/2019	0	28.8	19.2
23/09/2019	0	25.4	15.3
24/09/2019	0	28.2	12.6
25/09/2019	9.7	22.4	15.1
26/09/2019	29.9	18.4	14
27/09/2019	26.8	27.2	13.1
28/09/2019	0	28.8	15.1
29/09/2019	0	28	15.7
30/09/2019	0	29.4	16.7
01/10/2019	0	30	16.7
02/10/2019	0	32.6	15.6
03/10/2019	0	31	15.8
04/10/2019	0	29.6	15.9
05/10/2019	0	31.2	16.2
06/10/2019	0	32.6	17.1
07/10/2019	0	30.6	18
08/10/2019	5.2	23.8	18.6
09/10/2019	2.4	25.4	17.8
10/10/2019	14.4	22.2	16.5
11/10/2019	4.5	28	17.1
12/10/2019	0	31	16.9
13/10/2019	0	33.2	17.2
14/10/2019	0	33	16.4

Data	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C
15/10/2019	0	31.2	18
16/10/2019	0	30.2	17.4
17/10/2019	0	31	18.7
18/10/2019	0	32.8	17.4
19/10/2019	0	32.6	19.5
20/10/2019	8.2	30.6	17.7
21/10/2019	0	25.4	15.8
22/10/2019	7.8	29.4	17.5
23/10/2019	0	29.8	18.1
24/10/2019	0	29.2	18.4
25/10/2019	0	33.6	19.3
26/10/2019	0	28.4	18.6
27/10/2019	0	31.8	18.2
28/10/2019	8.8	30.5	18.2
29/10/2019	27.6	30.6	17.7
30/10/2019	0	30.2	17.6
31/10/2019	3.8	29.4	18.6
01/11/2019	13.4	29.6	19.7
02/11/2019	0	27.2	19
03/11/2019	0	31	17.2
04/11/2019	0	33.2	19.2
05/11/2019	0	31.2	20.9