UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos

BRUNO HORSCHUT DE LIMA

NUTRIÇÃO, FISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE CULTIVARES DE GERGELIM INOCULADOS COM MICRORGANIMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS

Ilha Solteira – SP

2023

BRUNO HORSCHUT DE LIMA

INOCULAÇÃO DE FUNGO E BACTÉRIAS PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM CULTIVARES DE GERGELIM

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual Paulista – UNESP, campus de Ilha Solteira como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia

Área de Concentração: Sistemas de Produção

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Ilha Solteira – SP
2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Lima, Bruno Horschut de.
L732n Nutrição, fisiologia e produção de cultivares de gergelim inoculados com microrganimos promotores de crescimento de plantas / Bruno Horschut de Lima. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
79 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Inclui bibliografia

1. *Sesamum indicum*. 2. *Azospirillum brasilense*. 3. *Bacillus subtilis*. 4. *Pseudomonas fluorescens*. 5. *Trichoderma harzianum*.

Amanda Sertori dos Santos
Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: NUTRIÇÃO, FISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE CULTIVARES DE GERGELIM INOCULADOS COM MICRORGANIMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS

AUTOR: BRUNO HORSCHUT DE LIMA
ORIENTADOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO
COORIENTADOR: IGNACIO ANTONIO CIAMPITTI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual)
Fitossanidade Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Dr. RODOLFO DE NIRO GAZOLA (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profa. Dra. ELISANGELA DUPAS (Participação Virtual)
Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

Ilha Solteira, 31 de outubro de 2023

DEDICO ...

A minha família, Sabrina Horschut Sandim, Haroldo Horschut Andrade Pinto, Mel Horschut Sandim e Flavio Augusto Sandim de Carvalho e amigos de coração, por me apoiarem e dedicarem um amor incondicional em todos momentos.

OFEREÇO...

Ao meu falecido pai, Benedito José Aparecido Lima, por me ensinar a amar e respeitar todas as plantas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me inspirar a ser melhor a cada dia e me a poiar nos momentos difíceis e me proporcionar momentos de felicidade.

A minha querida Família, por me dedicar um Amor incondicional seja em momentos felizes ou tristes, me mostrando a verdadeira Ágape.

Aos meus amigos, sendo que guardo cada um em meu coração e são fundamentais para minhas conquistas.

A Regina Maria Monteiro Castilho, por me acolher como um filho, principalmente, nos primeiros momentos longe de minha família e períodos difíceis, sendo minha primeira orientadora, assim iniciando minha carreira cientifica. Se tornando parte de minha família, juntamente com seu filho Rodrigo Castilho Freitas, durante toda minha graduação, fundamentando as bases para que eu possa realizar meu mestrado.

Ao meu querido orientador de graduação Alan Rodrigo Panosso, que é minha uma das minhas inspirações como profissionais e pessoa, sendo peça fundamental para me inspirar a realizar meu mestrado, pois foi uma das pessoas que mais me incentivo na carreira de pesquisador.

Ao meu orientador e amigo Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, por além de ser um exemplo de profissional, ser um exemplo de pessoa. Proporcionando todo ensinamento, oportunidades, paciência e compreensão. E em momentos difíceis proferir palavras amigas, reconfortantes e esclarecedoras, me formando não somente como profissional, mas como pessoa, tendo um lugar especial em meu coração como grande amigo que é.

Deixo meu agradecimento a todos professores que lecionaram para mim.

Aos funcionários da instituição, por todo apoio e atenção.

Agradeço à UNESP - Ilha Solteira por existir e me proporcionar grandes oportunidades e certamente um ensino de qualidade.

A minha república, S'Ócio, que me proporcionou um lar seguro com muito amor e carinho.

Por fim, obrigado a todas as pessoas que não foram citadas diretamente, sendo que pelo simples fato de terem cruzado meus caminhos, apresentam grande importância em minha vida.

Sem todos vocês não teria conseguido chegar tão longe, guardo todos em meu coração!

“O saber se aprende com os mestres. A sabedoria, só com o corriqueiro da vida.”

(Cora Coralina)

RESUMO

Alguns microrganismos, como os fungos micorrízicos e bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs), podem desempenhar papel relevante e estratégico para incrementar produtividade a baixo custo e com menor dependência de importação de insumos, principalmente em culturas como o gergelim, que apresentam bom valor comercial no mercado internacional. Sendo assim, objetivou-se avaliar os efeitos da inoculação via semente com *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum* de forma isolada, na nutrição, fisiologia e produção de dois cultivares de gergelim. O experimento foi desenvolvido no delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial 5x2, o primeiro fator foi as inoculações dos microrganismos sendo o controle não inoculado e a inoculação de *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* e *Trichoderma harzianum*; o segundo fator foi constituído por dois cultivares de gergelim (Trebol e BRS Anahí), em sistema de cultivo protegido. O cultivar de gergelim Anahí se destacou em relação as análises fisiológicas, com isso levando a uma melhor condição fitossanitária, com maiores acúmulos de macronutrientes nos grãos e maior produção de grãos por planta. As inoculações com microrganismos propiciaram as maiores concentrações e acúmulos de N na parte aérea das plantas em relação ao controle; e incrementos de forma variada na concentração e acúmulo de micronutrientes na parte aérea, fotossíntese líquida, condutância estomática, comprimento de vagens e massa de 100 grãos dos cultivares de gergelim, ao quais foram afetados por estresse causado pelo frio. Plantas inoculadas com *Azospirillum brasilense* e *Trichoderma harzianum* foram mais eficientes nas análises fisiológicas, porém variando conforme os cultivares de gergelim e época de avaliação. Apesar de não ter sido observada diferença significativa entre inoculações com microrganismos, a inoculação com *Azospirillum brasilense* foi a mais interessante, pois incrementou em 14% a produção de grãos por planta em relação ao controle. Adicionalmente esta bactéria proporcionou maiores acúmulos de P, B, Fe e Zn nos grãos de gergelim.

Palavras-chaves: *Sesamum indicum*; *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Pseudomonas fluorescens*; *Trichoderma harzianum*.

ABSTRACT

Some microorganisms, such as mycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria (PGPB), can play a relevant and strategic role in increasing productivity at low cost and with less dependence on imported inputs, especially in crops like sesame, which have good commercial value in the international market. Therefore, the objective was to evaluate the effects of seed inoculation with *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum* individually on the nutrition, physiology, and production of two sesame cultivars. The experiment was conducted in a randomized complete block design with five replications in a 5x2 factorial scheme. The first factor was the inoculation of microorganisms, with the control being non-inoculated and the inoculation of *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Trichoderma harzianum*. The second factor consisted of two sesame cultivars (Trebol and BRS Anahí), in a protected cultivation system. The Anahí sesame cultivar stood out in physiological analyses, leading to better phytosanitary conditions, with higher accumulation of macronutrients in the grains and higher grain production per plant. Inoculations with microorganisms provided the highest concentrations and accumulations of N in the aerial part of the plants compared to the control; and varied increases in the concentration and accumulation of micronutrients in the aerial part, net photosynthesis, stomatal conductance, pod length, and 100-grain weight of sesame cultivars, which were affected by cold stress. Plants inoculated with *Azospirillum brasilense and Trichoderma harzianum* were more efficient in physiological analyses, but varied according to sesame cultivars and evaluation time. Although no significant difference was observed between microorganism inoculations, inoculation with *Azospirillum brasilense* was the most interesting as it increased grain production per plant by 14% compared to the control. Additionally, this bacterium provided higher accumulations of P, B, Fe, and Zn in sesame grains.

Keywords: *Sesamum indicum*; *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Pseudomonas fluorescens*; *Trichoderma harzianum*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Temperaturas média, máxima e mínima, umidade média relativa do ar e radiação solar líquida durante os períodos de desenvolvimento do gergelim em Ilha Solteira - SP 25

Figura 2 – Rede de correlação dos coeficientes de Pearson obtidos das variáveis analisadas do gergelim, para o cultivar Anahí em resposta a inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas: Linhas verdes ($p<0,07$), quanto mais grossas, maior a correlação positiva; linhas vermelhas ($p>0,07$), quanto mais grossas, maior a correlação negativa; MASR, massa seca de raiz; VOL, volume de raiz; DCA, diâmetro do caule; AFO, área foliar; MASP, massa seca da parte área; ALT, altura de planta; I1V, altura de inserção da primeira vagem; COM, comprimento de vagem; VPL, número de vagens por planta; GRV, grãos em 10 vagens; GPL, grãos por planta; M10, massa de 100 grãos; PRO, produção de grãos por planta.....64

Figura 3 – Rede de correlação dos coeficientes de Pearson obtidos das variáveis analisadas do gergelim, para o cultivar Trebol em resposta a inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas: Linhas verdes ($p<0,07$), quanto mais grossas, maior a correlação positiva; linhas vermelhas ($p>0,07$), quanto mais grossas, maior a correlação negativa; MASR, massa seca de raiz; VOL, volume de raiz; DCA, diâmetro do caule; AFO, área foliar; MASP, massa seca da parte área; ALT, altura de planta; I1V, altura de inserção da primeira vagem; COM, comprimento de vagem; VPL, número de vagens por planta; GRV, grãos em 10 vagens; GPL, grãos por planta; M10, massa de 100 grãos; PRO, produção de grãos por planta 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios da concentração de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da planta, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....30
Tabela 2 – Valores médios da concentração de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da planta, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....31
Tabela 3 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de B (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....32
Tabela 4 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Cu (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....33
Tabela 5 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Fe (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....34
Tabela 6 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Mn (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....35
Tabela 7 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Zn (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....36
Tabela 8 – Valores médios da concentração de N, P, K, Ca, Mg e S nos grãos, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....37
Tabela 9 – Valores médios da concentração de B, Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....38
Tabela 10 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Fe (mg kg^{-1}) nos grãos de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....39
Tabela 11 – Valores médios do acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da planta, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....40
Tabela 12 – Valores médios do acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da planta, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....41

Tabela 13 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias de acúmulo de B (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....42
Tabela 14 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias de acúmulo de Fe (mg kg^{-1}) na parte aérea do gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....43
Tabela 15 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias de acúmulo de Mn (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....43
Tabela 16. Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias de acúmulo de Zn (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....44
Tabela 17 – Valores médios do acúmulo nos grãos de N, P, K, Ca, Mg e S, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....45
Tabela 18 – Valores médios do acúmulo nos grãos de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....46
Tabela 19 – Valores médios da fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s), e a concentração interna de CO_2 (C_i), obtida aos 60 DAE, após a aplicação da inoculação de BPCPs nos cultivares de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....47
Tabela 20 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da fotossíntese líquida (*A*- μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 60 DAE do gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....48
Tabela 21 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da condutância estomática (g_s- mol H_2O m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 60 DAE do gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....49
Tabela 22 – Valores médios da fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (g_s), e a concentração interna de CO_2 (C_i), obtida aos 75 DAE, a em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....50
Tabela 23 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da fotossíntese líquida (*A*- μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 75 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....51

Tabela 24 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da condutância estomática (g_s- mol H_2O m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 75 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....52
Tabela 25 – Valores médios da fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s), e a concentração interna de CO_2 (C_i), obtida aos 90 DAE, a em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....52
Tabela 26 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da fotossíntese líquida (*A*- μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 90 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....53
Tabela 27 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da transpiração (*E*- mmol H_2O m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 90 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....54
Tabela 28 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da condutância estomática (g_s- mol H_2O m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 90 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....55
Tabela 29 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da concentração interna de CO_2 (C_i- μmol CO_2 mol ar $^{-1}$), na avaliação de 90 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....56
Tabela 30 – Massa seca de raiz, volume de raiz, diâmetro do caule em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....57
Tabela 31 – Área foliar, massa seca da parte área, altura de planta de cultivares de gergelim e em relação as inoculações com microrganismos. Ilha Solteira - SP, 2021.....58
Tabela 32 – Altura de inserção da primeira vagem, comprimento de vagem, número de vagens de cultivares de gergelim e em relação as inoculações com microrganismos. Ilha Solteira - SP, 2021.....59
Tabela 33 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise altura de inserção da primeira vagem (cm) de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....60
Tabela 34 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise comprimento de vagem (cm) de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....61
Tabela 35 – Grãos em 10 vagens, grãos por planta, massa de 100 grãos e produção de grãos por planta, porcentagem de óleo de cultivares de gergelim e em relação as inoculações com microrganismos. Ilha Solteira - SP, 2021.....62

Tabela 36 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise comprimento de vagem (cm) de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.....63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
2 REVISÃO DE LITERATURA 17
2.1 Associação entre plantas e bactérias promotoras de crescimento 17
2.2 Associação entre plantas e fungos promotores de crescimento - (*Trichoderma* spp.) 21
2.3 A cultura do gergelim 23
3 OBJETIVOS 25
4 MATERIAL E MÉTODOS 26
4.1 Local 26
4.2 Tratamentos e delineamento experimental 27
4.3 Instalação e condução da pesquisa em ambiente protegido 27
4.4. Avaliações 28
4.4 Análises estatísticas 29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
5.1 Concentrações de nutrientes na parte aérea e grãos 30
5.2 Acúmulo de nutrientes na parte aérea e grãos 40
5.3 Análises fisiológicas 47
5.4 Análises biométricas, produção e óleo 57
6 CONCLUSÕES 65
REFERÊNCIAS 66

1 INTRODUÇÃO

Os alimentos caracterizam-se como fonte primária de nutrientes, e sua demanda cresce pelo aumento exponencial da população mundial. A população mundial mais que triplicou nos últimos 50 anos, crescendo de 2,5 bilhões de habitantes para 7,7 bilhões (WORLDOMETERS, 2019; ONU, 2019). Estima-se que até o ano de 2050, o setor agrícola tem o desafio de ampliar a produção de alimentos em 70% para atender ao aumento da demanda (FAO, 2019), pois segundo estudos realizados pela United Nations Organization (ONU, 2019) a população mundial aumentará para 9,7 bilhões de pessoas até 2050, com isso faz se necessário o aumento da produção agrícola.

O gergelim é uma das culturas mais consumidas no continente asiático, região onde a população mundial mais vai crescer nos próximos anos, essa cultura destaca por seu alto valor econômico, sendo cultivado para alimentação e usos medicinais até mesmo empregado na produção de biodiesel (Jesus *et al*., 2015). Suas sementes contêm altos teores de óleo com significativa qualidade nutricional devido à presença de ácidos graxos insaturados, como oleico e linoleico, além de possuir resistência à acidificação, sendo utilizado na confecção de massas, doces, tortas, tintas, sabonetes, cosméticos e medicamentos (Nobre *et al*., 2013; Dias *et al*., 2017). Com isso a cultura é uma excelente opção de exportação para o continente asiático, apresentando também um significativo mercado interno. A produção brasileira de gergelim é basicamente concentrada nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará e Ceará. Contudo, a produtividade média brasileira de gergelim é muito baixa (796 kg ha^{-1}) quando comparado aos grandes produtores como Líbano que atinge produtividades médias de 3500 kg ha^{-1} (FAOSTAT, 2019), contudo, a expansão do cultivo no Brasil é notável, evidenciada por um crescimento expressivo de 230% da safra de 2018/2019 para a safra de 2019/2020 (EMBRAPA, 2021).

Práticas agrícolas modernas aumentaram drasticamente os rendimentos das colheitas nos últimos 50 anos, principalmente como resultado da aplicação de fertilizantes, agroquímicos, irrigação e desenvolvimento de cultivares modernas. O uso intensivo de fertilizantes minerais e pesticidas nas práticas agrícolas atuais criou uma série de problemas ambientais que incluem contaminação dos lençóis freáticos, degradação da qualidade do solo e redução da biodiversidade (Tilman *et al*., 2001; Tilman *et al*., 2002). A aplicação excessiva de fertilizantes, além de onerar o custo de produção polui o meio ambiente. Apenas uma parte dos nutrientes que é aplicado como fertilizante é aproveitado pelas culturas, culminando em grandes perdas por erosão, lixiviação e volatilização na forma de gases (Bender, Van der Heijden, 2014;

Bindraban *et al*., 2015). Diversos problemas ambientais são ocasionados devido a perda desses fertilizantes, como poluição do lençol freático e eutrofização da água, além de redução da biodiversidade nos ecossistemas e aumento das emissões de gases do efeito estufa (Bender, 2015). Portanto, mudanças de paradigma em prol de uma agricultura sustentável e de baixa emissão de carbono, visando principalmente aprimorar a eficiência de utilização dos recursos naturais à fim de garantir elevadas produtividades e reduzir os impactos ambientais são essenciais (Bender, 2014; Bindraban *et al*., 2015; Galindo *et al*., 2016).

Deste modo, a utilização de tecnologias sustentáveis, visando aumento na produtividade e qualidade de alimentos se faz imprescindível na busca de uma agricultura competitiva, nesse contexto, práticas que busquem mitigar a utilização de insumos e/ou otimizar sua utilização são estratégias que devem ser utilizadas nos sistemas agrícolas (Teixeira Filho; Galindo, 2019). Como o uso de bactérias e fungos promotores de crescimento de plantas (BPCPs e FPC, respectivamente), microrganismos que aumentam a eficiência na absorção de nutrientes assim como a eficiência da adubação realizada, além dos avanços já obtidos provenientes da fixação biológica de nitrogênio.

Os microrganismos do solo como um componente do ecossistema do solo desempenham papel importante na regulação da fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes e manutenção da diversidade das plantas (Fitzsimons; Miller, 2010). Bactérias promotoras de crescimento contidas na rizosfera podem auxiliar no desenvolvimento de plantas (Santoyo *et al*., 2016). A produção direta e indireta de diferentes fitormônios e fixação biológica de nitrogênio (FBN) como o caso da *Azospirillum brasilense* (Repke *et al*., 2013), mineralização e decomposição de matéria orgânica e melhoram a biodisponibilidade de diferentes nutrientes minerais como zinco e fósforo temos como exemplo o *Bacillus subtilis* (Mumtaz *et al*., 2017), além da supressão de diversos patógenos vegetais por *Pseudomonas fluorescens* na cultura do arroz (Barbosa, 2018), são exemplos de associações simbiótica entre BPCPs e plantas. Na rizosfera existem vários microrganismos que podem promover o crescimento das plantas e proteger o organismo das plantas contra de infecções de corrente de patógenos, como o gênero *Trichoderma* (Machado *et al*., 2012; Martínez *et al*., 2013). As espécies do gênero *Trichoderma* vem apresentando significativo interesse científico e econômico devido às suas ações antagônicas contra vários patógenos, como parasitismo, antibiose e competição (Martínez *et al*., 2013). Algumas cepas de *Trichoderma* apresentam ações diretas no aumento da área do sistema raiz, permitindo maior acesso à raiz nutrientes minerais, são capazes de solubilizar e disponibilizar para a planta o

fosfato, ferro, cobre, manganês e zinco. Além disso, pode melhorar os mecanismos ativos de absorção de macro e micronutrientes (Shoresh *et al*., 2010).

Em função do crescente cultivo do gergelim no Brasil, sendo uma das opções para segunda safra, apresentando valores de comercialização altos, e um cultura de baixa exigência nutricional, se adaptando muito bem ao clima semiárido, mas com produtividades ainda baixas, faz se necessário estudos voltados ao incremento produtivo da cultura de forma sustentável e sem onerar os custos de produção. Fungos e bactérias benéficas são uma tecnologia de baixo impacto ambiental que vem sendo utilizado nos últimos anos, se mostrando promissora em diversa culturas, com isso sua utilização na cultura do gergelim poderá aumentar a produtividade.

Dessa forma, acredita-se que a inoculação com microrganismos com função diazotróficos, como *Azospirillum brasilense, Pseudomonas fluorescens, Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum* podem proporcionar a fixação biológica de N_2, ação fito-hormonal, aumentar a disponibilização de nutrientes, otimizando o uso e o acúmulo dos nutrientes pelas plantas, reduzindo as concentrações de nitrato nas folhas e aumentando a produtividade de massa da planta, grãos e óleo do gergelim.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Associação entre plantas e bactérias promotoras de crescimento

Uma forma potencial para diminuir o impacto ambiental pelo uso contínuo de fertilizantes e pesticidas é a utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs). Esse termo foi definido pela primeira vez por Kloepper e Schroth (1978) para descrever bactérias do solo que colonizam a rizosfera de plantas, crescendo dentro, sobre ou ao redor de tecidos vegetais, e estimulam o crescimento das plantas por uma série de mecanismos (Basu *et al*., 2017). Desde então, atividades de pesquisa voltadas à compreensão de como essas bactérias desempenham seus efeitos positivos tem aumentado constantemente, e pesquisas sobre microrganismos vêm sendo publicados (Bashan *et al*., 2006; Hungria, 2011; Pérez-Montano et. al, 2014; Ferreira, *et al*., 2019).

As BPCPs são residentes epifíticas ou endofíticas, não patogênicas, que atuam de forma direta ou indireta promovendo o crescimento das plantas, atuando também como agentes de controle biológico de doenças de plantas (Mariano *et al*., 2004). A inoculação nas culturas com BPCPs é crescente em diversos países, principalmente na América Latina, em trigo e milho (Marks *et al*., 2015; Salvo *et al*., 2018; Galindo *et al*., 2020), soja (Hungria *et al*., 2015; Silva *et al*., 2019), feijão (Yadegari *et al*., 2010; Peres *et al*., 2016), arroz (Sahoo *et al*., 2014), cana-de-açúcar (Schultz *et al*., 2012), sorgo (Santos *et al*., 2017), pastagens (Hungria *et al*., 2016), batata (Devi *et al*., 2016), tomate (Lima *et al*., 2018), cebola (Harthmann *et al*., 2010) e melão (Seido *et al*., 2019). Ensaios conduzidos por mais de 20 anos, em distintas condições de solo e clima, utilizando a campo com variadas culturas não leguminosas verificou que as BPCPs têm potencial em aumentar a rendimento das culturas em até 30% (Fukami *et al*., 2016; Fukami *et al*., 2017).

Tem sido amplamente discutido o uso de microrganismos rizosféricos para contribuir com o crescimento das plantas, aumentando a produtividade das culturas, controlando e/ou reduzindo a infecção por patógenos, bem como amenizando os efeitos de estresses de origem biótica e abiótica, sem causar patogenicidade (Salvo *et al*., 2018). Além de ser uma alternativa econômica, ecológica e sustentável, possibilitando aumento na eficiência de uso dos fertilizantes (García de Salamone, 2011). De maneira geral, o funcionamento das BPCPs ocorre devido três mecanismos principais: 1) síntese de compostos específicos e fitohormônios para as plantas, 2) facilidade de aquisição de nutrientes do solo e 3) prevenção ou redução ao ataque

de pragas e doenças (Bashan *et al*., 2014; Salvo *et al*., 2018). As BPCPs apresentam interações associativas com as plantas, em dois principais tipos de associação: associação entre plantas e bactérias de vida livre ou rizosféricas e associação entre plantas e bactérias diazotróficas endofíticas (Teixeira Filho; Galindo, 2019).

Bactérias de vida livre ou rizosféricas são microrganismos que vivem livre no solo e podem eventualmente chegar a colonizar os tecidos dos vegetais, desde que o ambiente seja favorável (Reis *et al*., 2018). De acordo com a vantagem na captação de N, os microrganismos diazotróficos de vida livre são precursores na colonização de ambientes escassos deste nutriente dentro dos mais distintos ecossistemas (Kennedy; Tchan, 1992). Como as bactérias do gênero *Azospirillum* que tem como principal característica a capacidade de colonizar as plantas em diferentes ecossistemas, ocorrendo desde regiões árticas a tropicais (Reed *et al*., 2011). Bactérias como a *Azospirillum brasilense* são promotoras de crescimento radicular pela ação dos ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas, que são produzidos em associação da planta com a rizobactéria (Tien *et al*., 1979).

A utilização de *Azospirillum spp.* promoveu maior massa fresca e seca das raízes e da parte aérea, teor de clorofila, área foliar e produtividade de morango em cultivo hidropônico (Rueda *et al*., 2016). As BPCPs do gênero *Azospirillum* mitigam os efeitos da osmóticos e fisiológicos do estresse salino quando associados ao cultivo de alface (Fasciglione *et al*., 2015). É perceptivo o benefício do uso destas bactérias benéficas para o crescimento das plantas, principalmente por conseguir fornecer estes microrganismos de forma exógena com grande eficiência. De acordo com Cássan e Diaz-Zorita (2016), plantas de alfafa inoculadas com cepas de *Azospirillum* sp. promovem aumento no número e comprimento-diâmetro dos pelos radiculares e raízes laterais, surtindo maior absorção de água e nutrientes, em especial o nitrogênio, o que melhora a nutrição vegetal, e consequentemente, a produtividade e qualidade dos grãos. Um dos mecanismos mais importantes à promoção vegetal por *Azospirillum* é sua capacidade de FBN, atuando como um filtro de nitrogênio "freeliving" que não produz nódulos, caracterizando-a como "bactéria não específica promotora do crescimento de plantas" (Bashan *et al*., 2006). *Azospirillum* sp. ocorre em abundância na rizosfera, permanecendo na superfície da raiz em estreita associação com a planta, fixando N biologicamente, além de promover a síntese de fitormônios do crescimento (Bashan *et al*., 2010; Dorjey *et al*., 2017).

Mecanismos envolvidos na síntese de compostos que atuam na promoção vegetal foram relatados por (Sahoo *et al*., 2014) como IAA, cinetina (Tien *et al*., 1979), ácido abscísico (Cassán *et al*., 2019), zeatina (Sahoo *et al*., 2014), ácido giberélico (Sahoo *et al*., 2014), e

aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) (Kaneko *et al*., 2010) importantes na regulação da divisão celular e concentrações de etileno e formação de raízes; estes influenciam positivamente a fotossíntese e a produção de vários metabólitos que atuam no estresse biótico vegetal (Bashan de-Bashan, 2010). Rodriguez *et al*. (2004) demonstraram que cepas de *Azospirillum* sp. possuem a capacidade de solubilizar PO_4^{3-} na região rizosférica. De forma complementar, Sahoo *et al*. (2014) identificaram a habilidade dessas cepas em sintetizar moléculas com atividade antimicrobiana, tais como 'HCN bacteriocina' e 'ácido fenilacético'. Essas descobertas destacam diversos mecanismos pelos quais o *Azospirillum* sp. contribui para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A aplicação de bactérias solubilizadoras de fosfato aumentam a fertilidade do solo devido à sua capacidade converter P insolúvel em P solúvel através da liberação de ácidos orgânicos, quelação e troca iônica. A ação dos ácidos orgânicos é conhecida como o principal mecanismo responsável pela liberação de fósforo das estruturas hidroxiapatita, e ainda segundo Saeid *et al*. (2018), os exsudatos solubilizantes produzidos por *Bacillus spp.* foram compostos pelos seguintes cinco ácidos orgânicos: glucônico, láctico, acético, succínico e propiônico, e tiveram fortes correlações positivas com as concentrações de fosforo solúvel do solo. Em cultivo de feijão caupi em região tropical utilizando inoculação de *B. subitilis* verificou a grande eficiência da bactéria em solubilizar fosfato e aumentar disponibilidade do nutriente para as plantas elevando a produtividade e o estado nutricional da planta (Swain *et al*., 2012). Existem estirpes de *Bacillus* sp. solubilizadoras de Zn, as quais solubilizam o Zn disponível através da produção de quelantes, secreção de ácidos orgânicos, aminoácidos, vitaminas e fitohormonas, através de sistemas oxido-redutores e extrusão de protões (Saravanan *et al*., 2004). A produção de ácido orgânico por cepas microbianas é um dos principais mecanismos de solubilização do Zn, entre estes ácidos orgânicos, a produção de ácido 2-cetoglucônico e ácido glucônico por BPCPs é responsável pela solubilização de Zn (Fasim *et al*., 2002).

O *Bacillus subtilis*, é uma bactéria Gram-positiva, bem conhecida como um potenciador de crescimento de plantas com a capacidade de diminuir altas concentrações de salinidade da água ou soluções nutritivas (Woitke *et al*., 2004). Constatou-se com a inoculação de *Bacillus subtilis* aumento da eficiência do uso da água e aumento da concentração de vitamina C em tomate (Gül *et al*., 2008), incremento da produtividade, do diâmetro e do peso dos pimentões e tomates (García *et al*., 2004). Há também estudos que evidenciam a produção de várias secreções com ácidos orgânicos, dentre eles ácido oxálico, acético, málico e malônico, para solubilizar os nutrientes do solo, melhorando sua disponibilidade na rizosfera (Kim *et al*., 2018;

Satyaprakash *et al*., 2017). Foi constatado por Calvo *et al*. (2016), utilizando quatro estirpes de *Bacillus* spp., que houve um incremento no crescimento e nas concentrações nutricionais (N, P e K) na cultura do milho, demonstrando o potencial do *Bacillus* spp. na nutrição e promoção do crescimento de plantas. São capazes de formar um biofilme muito forte e estável na rizosfera, constituído por uma comunidade bacteriana multicelular coberta por uma matriz auto-secretada (Beauregard *et al*., 2013). Dessa forma conferem ao hospedeiro vegetal tolerância à estresses bióticos e abióticos (como estresse hídrico, ataque de nematoides, competição por daninhas), sintetizam metabólitos que promovem o crescimento das plantas (AIA, giberelinas, citocininas, ACC-disseminases), bem como, previnem a infecção de patógenos, pela síntese de compostos orgânicos voláteis de ação antifúngica e antibiótica (Radhakrishan *et al*., 2017). Dessa forma, a implantação de BPCPs em sistemas de produção agrícola para aliviar tensões bióticas e abióticas se insere como prática ambientalmente amigável na busca pela produção de alimentos cada vez mais sustentável (Vejan *et al*., 2019).

As *Pseudomonas fluorescens* são consideradas BPCPs promissoras, graças às suas características de rápido crescimento, simples requisitos nutricionais, alta mobilidade e capacidade de utilizar diversos substratos orgânicos (Dorjey et at., 2017). *P. fluorescens* são rizobactérias gram-negativas, aeróbicas, móveis com auxílio de flagelos polares, atuando no crescimento de plantas envolvendo o controle biológico das doenças em vegetais, além disso, ainda são capazes de produzir metabolitos secundários como antibióticos, fitohormônios, compostos voláteis, e sideróforos, sendo assim, a habilidade dessas bactérias em promover o crescimento de plantas, está relacionado principalmente pelo fato desse organismos produzem o AIA e outros compostos importantes (Sivasakthi *et al*., 2014). Rashid *et al* (2012) e Subramanian *et al*. (2014) isolando e caracterizando endofíticos envolvidos na promoção de plantas, verificaram a capacidade da síntese de amônia e solubilização de fosfato, por meio do gênero *Pseudomonas* sp. Um dos fatores cruciais atribuído ao gênero *Pseudomonas* sp. como sucesso de controle biológico, é graças à sua capacidade de colonizar e persistir na rizosfera, tanto ao longo da estação de crescimento, quanto quando são reintroduzidos em raízes através da inoculação de sementes ou inóculos naturais, colonizando profundamente a superfície da raiz, e exercendo importante efeito protetor sobre esta através do antagonismo contra fungos e bactérias fitopatogênicos (Van Loon *et al*., 1998). Para Suneesh (2004), o mecanismo de biocontrole envolve a ativação e síntese de aleloquímicos bacterianos, incluindo antibióticos, sideróforos quelantes de ferro, bem como metabólitos antifúngicos (piroluteorina, pirrolnitrina e fenazinas).

2.2 Associação entre plantas e fungos promotores de crescimento - (*Trichoderma* spp.)

Os relatos da utilização de microrganismos, como fungos e bactérias, visando benefícios para o crescimento e desenvolvimento de plantas são muitos, incluindo desde a germinação de sementes, emergência de plântulas, controle biológico, crescimento e produtividade (Machado *et al*., 2012). Os polissacarídeos altamente hidratados e dissacarídeos excretados pelas raízes, estimulam o crescimento e desenvolvimento de fungos na região da rizosfera (Vargas *et al*., 2009). Com isso, a utilização de agentes promotores de crescimento será cada vez mais frequente e importante, visando o aumento da produtividade e sustentabilidade agrícola (Machado *et al*., 2012). Dentre os agentes promotores de crescimento temos fungos do gênero *Trichoderma* spp., são de vida livre encontrados no solo e no ecossistema de raízes formando associações com plantas (Harman *et al*. 2004). Sendo simbiontes oportunistas e avirulentos que se reproduzem de forma assexuada pela produção de conídeos e clamidósporos, presentes em todos os locais sendo predominante na microflora do solo, matéria orgânica e ecossistema rizosférico de quase todas as zonas climáticas como saprófitas (Contreras-Cornejo *et al*., 2016; Hermosa *et al*., 2012). Vivem em uma estreita relação com as plantas colonizando suas raízes, influenciando diretamente o metabolismo das plantas de forma positiva, através da alteração de hormônios, açucares solúveis, compostos fenólicos e aminoácidos, taxa fotossintética, transpiração e teor o de água na planta (Yedidia *et al*. 2003; Brotman *et al* 2012). Outros fatores que proporcionam o sucesso entre planta e fungos do gênero *Trichoderma* é devido a sua alta capacidade reprodutiva, capacidade de sobreviver sob muitas condições desfavoráveis, eficiência na utilização de nutrientes, além de apresentar maior eficiência em solos ácidos do que em alcalinos (Chet *et al*., 1997).Os mecanismos e o metabolismo do *Trichoderma* spp. (por exemplo, xilanases, peptaibóis, epipolitiodioxopiperazinas, terpenos voláteis e não voláteis, pironas, policetídeos, sideróforos e cerato-plataninas) liberados na rizosfera mostram efeito no crescimento e nutrição das plantas, indução de resistência sistêmica, atividades micoparasitismo, antibióticas, efeitos benéficos em plantas para suportar períodos de estresse abiótico e enzimas líticas da parede celular (Zeilinger *et al*. 2016; Kotasthane *et al*. 2015; Hermosa *et al*., 2012; Doley *et al*., 2020).

Algumas pesquisas desenvolvidas com tomateiros inoculados com *Trichoderma* spp. e infectados com nematoides das galhas (*Meloidogyne javanica*) expressaram genes de defesa sistêmicos, além de que as plantas oriundas das inoculadas, herdaram a resistência ao patógeno

e apresentaram maior crescimento com relação a outras plantas que não foram oriundas das que tiveram contato com *Trichoderma* spp (Medeiros *et al*., 2017). Foi verificado na cultura do pepino por Yedidia *et al*. (2003), que a inoculação de *Trichoderma asperellum* conferiu uma defesa sistêmica a mancha-angular (*Pseudomonas syringae* pv. *Lachrymans*) e reduziu em 80% dos danos causados pela doença. Essa proteção foi associada ao acúmulo de mRNAs codificados das enzimas de defesa sendo a fenilalanina amônia-liase, b-1, 3-glucanase, celulase e peroxidase, observados até 72 horas o tratamento (Yedidia *et al*., 2000). Principais mecanismos envolvidos na atividade de biocontrole é a competição por espaço e nutrientes e produção de antibióticos e enzimas hidrolíticas como quitinas e β-1,3-glucanase. Essas enzimas hidrolíticas degradam parcialmente a parede celular do patógeno e levam à sua parasitização (Rai *et al*. 2016; Solanki *et al*. 2011; Benitez *et al*. 2004; Harman *et al*., 2004).

Seca, calor, resfriamento, salinidade e metais pesados são alguns dos principais estresses abióticos que induzem danos graves a planta (Hermosa *et al*., 2012), com isso a utilização de *Trichoderma* na agricultura, auxilia na redução desses danos, por meio do estimulo do crescimento da planta, ativação da produção de antioxidantes e vias de defesa em raízes e brotos (Contreras-Cornejo *et al*. 2009; López-Bucio *et al*., 2015). Plantas inoculadas com *Trichoderm*a secretam diferentes compostos (auxina, etileno, giberelina, enzimas vegetais e antioxidante), solutos e compostos compatíveis com a fitoalexinas e fenóis que favorecem a tolerância a estrese abiótico, aumentando a capacidade de ramificação do sistema radicular (López-Bucio *et al*. 2015; Brotman *et al*., 2013). Na cultura do tomate foi relatado por Mastouri *et al*. (2010), que tratamentos utilizando *Trichoderma harzianum* via semente de tomate, aumentou o vigor das mudas e amenizou os danos causados pelo estresse hídrico, osmótico, salino, térmico, induzindo a proteção fisiológica nas plantas contra danos oxidativos. Chacon *et al*. (2007) também relatou em tomate, que a utilização de *Trichoderma harzianum* promoveu o crescimento do tomateiro, aumentando a área foliar e as raízes secundárias, alterando também a arquitetura do sistema radicular.

Algumas cepas de *Trichoderma* spp. se estabelecem na rizosfera de plantas, muitas vezes ocorrendo uma simbiose entre os dois organismos, como resultados, há um estimulo de crescimento das plantas e as defesas contra ataques de patógenos, através de vias metabólicas complexas, especialmente de metabólicos secundários. Com isso, os resultados obtidos até o momento e sugerem que o controle biológico e a promoção de crescimento através destes fungos benéficos, vão promover um aumento da sustentabilidade na agricultura, com menor consumo de insumos agrícola de natureza mineral e química (Machado *et al*., 2012;

MARTÍNEZ *et al*., 2013).

2.3 A cultura do gergelim

A cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.), da família Pedaliácea, tem sua origem no continente africano, onde se encontra a maioria das espécies silvestres do gênero *Sesamum*, contudo na Ásia é encontrado uma diversidade de formas e variedades grande, sendo que a cultura do gergelim foi a primeira planta oleaginosa usada pela humanidade (Arriel *et al*, 2007). O gergelim é uma das culturas mais consumidas no continente asiático, região onde a população mundial mais vai crescer nos próximos anos, essa cultura destaca por seu alto valor econômico, sendo cultivado para alimentação e usos medicinais até mesmo empregado na produção de biodiesel (Jesus *et al*., 2015). Suas sementes contêm altos teores de óleo com significativa qualidade nutricional devido à presença de ácidos graxos insaturados, como oleico e linoleico, além de possuir resistência à acidificação, sendo utilizado na confecção de massas, doces, tortas, tintas, sabonetes, cosméticos e medicamentos (Nobre *et al*., 2013; Dias *et al*., 2017). Portanto, a cultura torna-se uma opção de exportação atrativa para o continente asiático, além de possuir um mercado interno expressivo. O Brasil ainda apresenta produtividades muito baixas de gergelim, cerca de 796 kg ha^{-1} (CONAB, 2020), se caracterizando como pequeno produtor, pois suas médias são muito aquém de países como Líbano (3529 kg ha^{-1}), Arábia Saudita (2528 kg ha^{-1}), Afeganistão (2158 kg ha^{-1}) e Tajiquistão (2121 kg ha^{-1}) (FAOSTAT, 2019). A produção brasileira de gergelim é basicamente concentrada nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará e Ceará. Na temporada de 2017, o estado de Mato Grosso ocupou o primeiro lugar com produção de 3901 toneladas, em uma área de 3056 hectares, atingindo cerca de 1275 kg ha^{-1}. Em segundo lugar, Mato Grosso do Sul ficou com produção de 200 toneladas, em uma área de 82 hectares (IBGE, 2017). Esses resultados estão muito a baixo de grandes produtores como Líbano que atinge médias produtivas de 3500 kg ha^{-1}(FAOSTAT, 2019).

Apresentando bom nível de resistência à seca e fácil cultivo, adaptada às concisões semiáridas em diversos países (Barros; Santos, 2002), características que colocam entre uma das excelentes opções para a diversificação de agrícola. Com isso tem seu cultivo vem se apresentando interessante tanto para exploração de sementes quanto derivados, devido à crescente demanda internacional, sendo uma alternativa viável para o cultivo de safrinha, podendo substituir o milho (Queironga *et al*., 2012). As sementes do gergelim apresentam em

média 50% de óleo, podendo variar dependendo do cultivar, elevado valor nutricional sendo muito apreciada como tempero, principalmente nos países asiáticos. O uso de seu óleo na cultura oriental é indispensável, tanto por uma questão cultural, quanto por suas propriedades medicinais com relação a sua constituição contendo antioxidantes naturais, ligninas, fitosteróis e vários outros compostos secundários, que conferem uma elevada resistência a oxidação.

3 OBJETIVOS

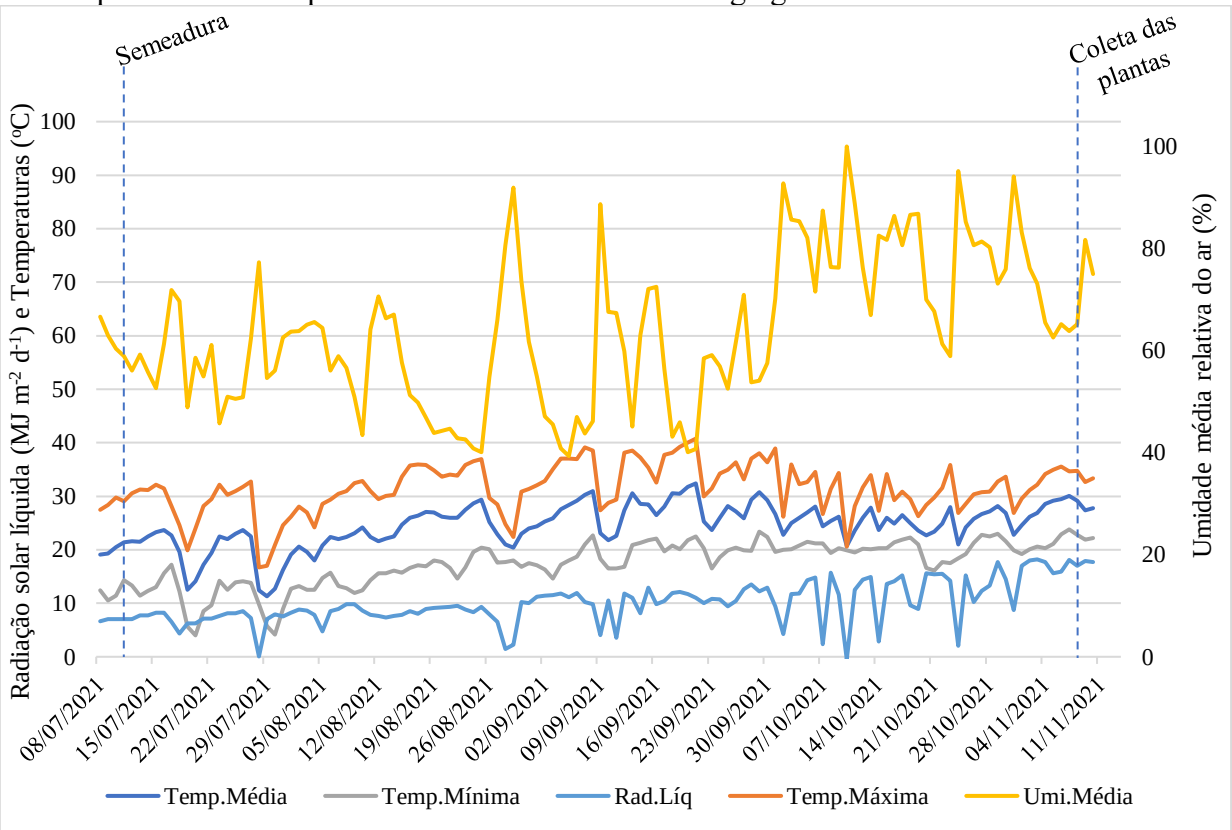
Avaliar os efeitos da inoculação com *Azospirillum brasilense, Bacillus subtilis, Pseudomonas fluorescens, Trichoderma harzianum* de forma isolada em dois cultivares de gergelim, na nutrição, fisiologia e produção de dois cultivares de gergelim.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local

O experimento foi conduzido no ano de 2021, de 11 de julho a 9 de novembro, em cultivo protegido com sombreamento de 30% sobreposta por lona plástica difusora de luz transparente, na Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada em Ilha Solteira – SP, com coordenadas geográficas (20°25'07"S 51°20'31"W), com altitude de 376 m. A temperatura média anual é de 23,5 ºC e a umidade relativa do ar média anual entre 70 a 80%. Os dados climáticos durante a condução do experimento estão resumidos na Figura 1.

Figura 1 – Temperaturas média, máxima e mínimas, umidade média relativa do ar e radiação solar líquida durante os períodos de desenvolvimento do gergelim em Ilha Solteira - SP



Fonte: Produção do próprio autor.

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi desenvolvido em delineamento casualizado (DIC), com cinco repetições, em esquema fatorial 5x2, sendo o primeiro fator as inoculações via semente dos microrganismos (*Azospirillum brasilense, Bacillus subtilis, Pseudomonas fluorescens* e *Trichoderma harzianum*, além do controle não inoculado); o segundo fator foi constituído por dois cultivares de gergelim (Trebol e BRS Anahí).

4.3 Instalação e condução da pesquisa em ambiente protegido

Nesta pesquisa, utilizou-se vasos de 12 dm³ preenchidos com solo. A semeadura ocorreu no espaçamento de 10 cm por planta (Nascimento, 2019), totalizando 2 plantas por vaso. Os cultivares utilizados são Trebol, desenvolvido por produtores do Mato Grosso, tem características de ciclo de 90 dias, ramificação em haste única, coloração da semente varia de tons bege-claro, porte de planta até 2,0 m de altura, indeiscente e pouco ramificado (Queiroga *et al*., 2008). O segundo cultivar utilizado no experimento foi o BRS Anahí, desenvolvido pela EMBRAPA Algodão, tem característica de ciclo de 90 dias, ramificação em haste única, coloração da semente tons esbranquiçado, semi-deiscente não ramificado.

Os cálculos de inoculação das BPCPs, foram baseadas em outra cultura também oleaginosa, no caso a soja, por não apresentar dados científicos sobre inoculação na cultura do gergelim. Inoculação com *Azospirillum brasilenses* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 (garantia de $2x10^8$ unidades formadoras de colônias (UFC) por mL), na dose de 100 mL a cada 50 kg de semente; *Bacillus subtilis* estirpe CCTB04 (garantia de $1x10^8$ UFC mL^{-1}) na dose de 50 ml a cada 50 kg de semente; *Pseudomonas fluorescens* estirpe CCTB03 (garantia de $2x10^8$ UFC mL^{-1}) por mL), na dose de 100 ml a cada 50 kg de semente; segundo Oliveira *et al*. (2019). E para o fungo promotor de crescimento *Trichoderma harzianum* ($2x10^8$ conídeos viáveis mL^{-1}), produto comercial TRICHODERMIL 1306 tecnologia da empresa Koppert®, na dose de 750 mL a cada 50kg de semente.

A irrigação foi controlada com lâmina média de água 540 mm de água para o ciclo da cultura sendo realizada com sistema de gotejamento, sendo ligada duas vezes ao dia no período mais fresco do dia. O solo para o experimento é classificado como NEOSSOLO QUARTZÂRENICO, textura arenosa, segundo classificação de Santos *et al*. (2018). Após a análise química do solo conforme Raij *et al*. (2001), constatou-se: 3 mg dm^{-3} de P (resina); 2

mg dm^{-3} de $S\text{-}SO_4$; 14 g dm^{-3} de M.O.; 5,2 de pH ($CaCl_2$); K, Ca, Mg, H+Al e Al = 1,3; 12,0; 7,0; 18,0 e 0,0 $mmol_c$ dm^{-3}, respectivamente; Cu, Fe, Mn, Zn (DTPA) = 0,6; 18,0; 5,0 e 0,3 mg dm^{-3}, respectivamente; 0,08 mg dm^{-3} de B (água quente) e 53% de saturação por bases. Com base na análise de solo e na recomendação do Boletim IAC, 200, foi realizada a calagem para elevar a saturação por bases a 70% com 30 dias de antecedência e, na adubação de semeadura aplicou-se 10 kg ha^{-1} de N (sulfato de amônio), 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples), 40 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio), 1,5 kg ha^{-1} de Zn (sulfato de zinco) e 1 kg ha^{-1} de B (ácido bórico). Na adubação de cobertura foram aplicados 20 kg ha^{-1} de N (sulfato de amônio) em cobertura, 30 dias após a emergência das plântulas (DAE) (Boletim IAC, 200). Foi aplicado Imidacloprido, produto comercial EVIDENCE 700 WG, para o controle de tripes em dois períodos, aos 40 DAE e 85 DAE, conforme a infestação.

4.4. Avaliações

No experimento foram realizadas as seguintes avaliações: concentração de *N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea e grãos* determinados no final do ciclo do gergelim conforme metodologia proposta por Malavolta *et al*. (1997). Os *acúmulos dos nutrientes* na parte aérea e grãos das plantas foram calculados com base nas respectivas massas secas e nas concentrações dos nutrientes supracitados;

As *avaliações fisiológicas* foram realizadas no período entre às 7 h e 11 h da manhã, em folhas totalmente expandidas localizada no ápice da planta, aos 60, 75 e 90 DAE. Para tanto, utilizou-se um analisador de gás infravermelho (Infra Red Gas Analyser –IRGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), sendo as condições inicialmente impostas de 1000 μmol m^{-2} s^{-1} de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), providas por lâmpadas LED, 380 ppm de CO_2 e temperatura da câmara em 28 °C. Na ocasião foram mensuradas a concentração interna de carbono (*Ci*- μmol m^{-2} s^{-1}), condutância estomática (*gs*- mol de H_2O m^{-2} s^{-1}), transpiração (*E*- mmol de H_2O m^{-2} s^{-1}) e taxa de fotossíntese líquida (*A*- μmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}).

Na ocasião colheita também foram avaliados: *altura de plantas*, definida como sendo à distância (m) do nível do solo a extremidade superior da haste principal; *diâmetro do caule*, medido a 4 cm do solo, utilizando um paquímetro métrico, com precisão de 0,1 mm, na ocasião da colheita; *área foliar* aferida por meio do equipamento LI-3000C, para a medição direta e não destrutiva; *altura de inserção de primeira vagem* da planta de gergelim; *número de vagens* por planta. Foram coletadas 10 vagens na ocasião da colheita para as avaliações do: *número de*

grãos por vagem; *comprimento de vagens*; *massa de 100 grãos*, determinada em balança de precisão 0,01g, a 5% (base úmida). Após a colheita, para obtenção da *produção de grãos por planta*, os grãos foram pesados e corrigidos a 13% (base úmida); *volume de raiz* por planta foi aferido utilizando se um Becker graduado; *matéria seca da parte aérea* de plantas de gergelim; *matéria seca de raízes*; *teor de óleo* pelo método à quente, onde as amostras secas foram trituradas e transferidas para cartuchos de papel filtro, em seguida, colocadas nos extratores de Soxhlet Vidrolabor, acoplados a balões de vidro contendo éter de petróleo após 45 minutos e a determinação da massa de óleo extraída foi realizada por pesagem do balão de vidro após completa evaporação do solvente e os resultados expressos em (%) (Silva; Queiroz, 2005).

4.4 Análises estatísticas

Os resultados foram avaliados pela análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias dos tratamentos com as inoculações e para os cultivares de gergelim, sendo utilizado o programa SISVAR (Ferreira, 2008). Para as análises de correlações de Pearson entre as avaliações foi utilizado o programa SAS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Concentrações de nutrientes na parte aérea e grãos

Analisando os dados da concentração de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da planta de gergelim, em relação do cultivares e inoculação (Tabela 1), o cultivar Anahí destacou-se para o N, em que a concentração média foi de 14,90 g kg^{-1}, sendo superior em aproximadamente 13,7% à concentração observada no cultivar Trebol, que foi de 13,10 g kg^{-1}. No entanto, não houve diferença significativa entre cultivares de gergelim para as concentrações de P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da planta.

A inoculação com todos os microrganismos proporcionou maiores concentrações de N na parte aérea da planta em relação ao controle (Tabela 1). Para concentração de Ca, a inoculação com *Azospirillum brasilense* foi superior a inoculação com *Trichoderma harzianum*. Para as concentrações de P, K, Mg e S na parte aérea da planta não foi verificada diferença entre os tratamentos com inoculação de microrganismos.

A inoculação do tomateiro com *Bacillus subtilis* em combinação com *Azospirillum brasilense* foi analisada, indicando uma possível colaboração entre estes microrganismos no estímulo ao crescimento da planta (Felicia *et al*, 2008). Segundo Oliveira *et al*. (2022), a inoculação com *Azospirillum brasilense* resultou em aumento do crescimento de raízes e caules, rendimento de massa fresca, conteúdo de nitrogênio, amônio e potássio em rúcula hidropônica. Zhang *et al*. (2018) destacaram que *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* foram eficazes em aumentar as concentrações de nitrogênio e as atividades enzimáticas na rizosfera do arroz, evidenciando uma possível melhora na absorção de N.

As BPCPs também foram relatadas por aumentar a absorção de água e nutrientes pelas plantas, melhorando o desenvolvimento radicular e a atividade enzimática, o que pode ter um impacto positivo na absorção de N e Ca (Santos *et al*., 2020).

Tabela 1 – Valores médios das concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da planta, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de gergelim	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
	---------- g kg^{-1} ----------					
Trebol	13,10b	3,72	19,07	10,86	4,41	2,92
Anahí	14,90a	4,00	20,58	11,43	4,48	2,88
DMS	1,01	0,52	1,99	1,11	0,58	0,48
Inoculação						
Controle	10,90b	3,81	20,70	11,15ab	4,13	3,13
Azospirillum brasilense	15,03a	4,08	20,56	12,46a	4,48	2,96
Bacillus subtilis	16,15a	4,15	21,43	11,01ab	4,58	3,03
Pseudomonas fluorescens	13,88a	3,96	19,58	11,68ab	4,65	2,85
Trichoderma harzianum	14,06a	3,30	18,41	9,43b	4,38	2,55
DMS	2,29	1,19	4,52	2,53	1,33	1,10
Teste F						
Cultivares (C)	13,73*	$1,28^{ns}$	$0,84^{ns}$	$1,12^{ns}$	$0,05^{ns}$	$0,03^{ns}$
Inoculação (I)	12,98*	$1,43^{ns}$	$1,19^{ns}$	3,47*	$0,41^{ns}$	$0,74^{ns}$
C*I	$1,021^{ns}$	$1,07^{ns}$	$0,67^{ns}$	$1,23^{ns}$	$1,61^{ns}$	$0,11^{ns}$
Média Geral	14,00	3,86	20,14	11,15	4,44	2,90
CV (%)	9,50	17,95	13,00	13,15	17,35	21,92

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Os micronutrientes, como o zinco (Zn), boro (B) e manganês (Mn) desempenham um papel crucial no crescimento do gergelim (Saber *et al*., 2021). Analisando o acúmulo de micronutrientes em duas cultivares de gergelim ao longo de quatro estágios de crescimento, apontando para a importância dos micronutrientes na nutrição da planta durante seu ciclo de vida; foi observado que a relação o crescimento alométrico do gergelim é impactado positivamente pela presença de micronutrientes como boro, zinco e manganês (Khan *et al*., 2017).

Tabela 2 – Valores médios das concentrações de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da planta, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Cultivares de gergelim	**B**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**
	----------	----------	mg kg^{-1}	----------	----------
Trebol	62,40	24,33	306,06	60,66	36,73
Anahí	58,53	26,73	250,13	72,13	40,00
DMS	3,18	1,17	21,35	6,71	2,60
Inoculação					
Controle	64,00	37,00	237,33	65,16	36,50
Azospirillum brasilense	64,66	26,00	329,50	68,00	41,33
Bacillus subtilis	62,00	22,33	242,66	75,00	38,33
Pseudomonas fluorescens	55,00	24,33	274,50	61,16	41,00
Trichoderma harzianum	56,66	18,00	306,50	62,66	34,66
DMS	7,23	3,88	48,45	15,22	5,91
Teste F					
Cultivares (C)	6,39*	8,52*	29,84*	12,70*	6,82**
Inoculação (I)	6,57*	59,25*	12,17*	2,30*	4,20*
C*I	6,92*	8,19*	36,41*	3,00*	4,36*
Média Geral	60,46	25,53	278,10	66,40	38,36
CV (%)	6,92	8,82	10,08	13,27	8,93

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

No desdobramento da interação dos fatores para a concentração de B na parte aérea (Tabela 3), para os cultivares, o Trebol apresentou maior concentração de B que na Anahí com a inoculação com *Azospirillum brasilense*, sendo superior em 34,3%.

Ao observarmos as diferenças entre inoculação, nota-se para o cultivar Trebol, inoculada com *Azospirillum brasilense* resultou na maior concentração de B, com 74,33 mg kg^{-1}, no entanto o menor valor foi de 55,33 mg kg^{-1} para *Trichoderma harzianum* também no cultivar Trebol, indicando uma diferença de 34,3%. Para Anahí, a maior concentração de B foi observada no controle com 64,00 mg kg^{-1} e a menor com *Pseudomonas fluorescens* com 53,00 mg kg^{-1}, uma diferença de 20,8%.

A aplicação de boro revelou-se vantajosa para o crescimento, a produtividade e o teor de óleo em plantas de gergelim, segundo uma pesquisa que investigou a dosagem ideal desse nutriente para maximizar esses aspectos na cultura do gergelim (Khuong *et al.*, 2022). De acordo com estes autores, compostos contendo boro são primariamente utilizados por bactérias como autoindutores e pelas plantas como componentes da parede celular.

Tabela 3 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de B (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	64,00Ab	64,00Aa	
Azospirillum brasilense	74,33Aa	55,00Bab	
Bacillus subtilis	61,33Ab	62,66Aab	10,23
Pseudomonas fluorescens	57,00Ab	53,00Ab	
Trichoderma harzianum	55,33Ab	58,00Aab	
DMS	7,13		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Ao analisar a interação entre cultivar e inoculação quanto à concentração de Cu na parte aérea (Tabela 4), verificou-se algumas diferenças significativas. Para o cultivar Trebol, a concentração de Cu obteve os valores de 13,00 mg kg^{-1} com *Trichoderma harzianum* e 35,00 mg kg^{-1} no controle. Já para Anahí, a concentração de Cu foi de 23,00 mg kg^{-1}, também com *Trichoderma harzianum*, chegando a 39,00 mg kg^{-1} no controle, sendo que estes microrganismos propiciaram menores médias em ambas as cultivares com relação a concentração de cobre. Avaliando a inoculação com microrganismos, notou-se para o Trebol, que o controle resultou na maior concentração de Cu, com 35,00 mg kg^{-1}. No cultivar Anahí, o maior valor foi observado no controle também, com 39,00 mg kg^{-1}, observa-se que o cultivar Anahí teve ligeiro destaque na absorção de Cu (Tabela 4).

O cobre é reconhecido como um micronutriente vital para o crescimento das plantas, sendo que uma faixa de 5 a 30 mg kg^{-1} de Cu é geralmente considerada satisfatória nos tecidos vegetais (Kumar *et al*., 2021). O excesso de Cu pode ter efeitos tóxicos em diversas etapas do ciclo de vida das plantas, incluindo a germinação das sementes, o crescimento e desenvolvimento das plantas, a fotossíntese e a resposta antioxidante das plantas. Mecanismos de tolerância das plantas ao estresse causado pelo Cu, bem como a gestão de solos contaminados com Cu, são áreas de foco na pesquisa atual (Mir *et al*., 2021). Com isso, os resultados (Tabela 4) indicaram uma possível ajuda dos microrganismos em solo contendo altos teores de Cu.

Tabela 4 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Cu (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	35,00Aa	39,00Aa	
Azospirillum brasilense	25,33Ab	26,66Ab	5,50
Bacillus subtilis	20,00Ab	24,66Ab	
Pseudomonas fluorescens	24,00Ab	24,33Ab	
Trichoderma harzianum	13,00Bc	23,00Ab	
DMS	3,83		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Ao analisar as diferentes inoculações em relação o cultivares para concentração de Fe (Tabela 5), no cultivar Trebol, a maior concentração foi observada com *Trichoderma harzianum*, com 434,00 mg kg^{-1}, enquanto a menor foi no controle, com 184,66 mg kg^{-1}. Para o cultivar Anahí, o *Azospirillum brasilense* e o controle promoveram a concentração de Fe mais elevada, e a menor foi obtida com *Trichoderma harzianum*, com 179,00 mg kg^{-1}.

A adubação com ferro tem vários efeitos positivos e negativos nas plantas e ecossistemas. Um aspecto positivo é que o ferro é um micronutriente que desempenha papéis cruciais em muitos processos fisiológicos das plantas, incluindo a síntese de clorofila, transporte de elétrons e fixação de nitrogênio. No entanto, o excesso de ferro pode ser prejudicial, pois induz o estresse oxidativo nas plantas, um processo que pode levar a danos celulares (Lapaz *et al*., 2020). Com isso pode-se inferir que concentrações médias de ferro seriam ideias, sendo que microrganismos como *Azospirillum brasilense*, poderiam auxiliar para obter concentrações ideais de ferro na planta.

Tabela 5 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Fe (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	184,66Bc	290,00Aab	
Azospirillum brasilense	333,33Ab	325,66Aa	
Bacillus subtilis	241,00Bc	244,00Abc	68,52
Pseudomonas fluorescens	337,33Ab	211,66Bc	
Trichoderma harzianum	434,00Aa	179,00Bc	
DMS	47,75		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

No cultivar Trebol, a maior concentração de Mn foi observada com a inoculação de *Azospirillum brasilense* com 70,00 mg kg^{-1}, enquanto a menor foi encontrada no controle com 52,66 mg kg^{-1}. Isso indica um aumento de aproximadamente 32,78% na concentração de Mn com a inoculação *de Azospirillum brasilense* em comparação ao controle (Tabela 6). No cultivar Anahí não foi observada diferença entre os tratamentos com microrganismos na concentração de Mn na parte aérea do gergelim (Tabela 6).

No geral, ao considerar todas as inoculações, o maior valor de Mn foi registrado no cultivar Anahí com a inoculação de *Bacillus subtilis* com 83,33 mg kg^{-1} e o menor valor foi observado no cultivar Trebol no tratamento controle com 52,68 mg kg^{-1}. Dessa forma, a diferença percentual entre esses valores extremos foi de aproximadamente 58,17%.

A relação entre manganês e bactérias promotoras de crescimento de plantas foi investigada em um estudo recente, que destacou efeitos positivos no crescimento das plantas, particularmente no desenvolvimento radicular quando havia alto conteúdo de Mn junto com zinco (Bradáčová *et al*., 2016).

Tabela 6 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Mn (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	52,66Bb	77,66Aa	
Azospirillum brasilense	70,00Aa	66,00Aa	
Bacillus subtilis	66,66Ba	83,33Aa	15,00
Pseudomonas fluorescens	51,66Bb	70,66Aa	
Trichoderma harzianum	62,33Aa	63,00Aa	
DMS	6,71		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Para a concentração de Zn não foi constatada diferença entre os tratamentos com inoculação para ambos os cultivares de gergelim (Tabela 7). Entretanto, para o cultivar Trebol verificou-se um aumento de cerca de 29,59% na concentração de Zn com a utilização de *Azospirillum brasilense* em comparação ao controle (Tabela 7). Com relação ao efeito de cultivares dentro de inoculação, verificou-se maiores concentrações de Zn na parte aérea para o cultivar Anahí no controle e na inoculação com *Bacillus subtilis.*

Estudos que correlacionam BPCPs, indicam a biossorção de Zn na superfície celular através da secreção de exopolissacarídeos, bioacumulação de Zn devido à presença de genes transportadores específicos, e bioprecipitação de Zn através da produção de precipitados de sulfeto. Além disso, as bactérias podem produzir ácido glucônico, um agente quelante natural que pode solubilizar o Zn e outros minerais do solo, facilitando a formação de moléculas metalo-orgânicas que podem ser mais facilmente manuseadas pelas plantas e pelos microrganismos do solo (Jain *et al*., 2020).

O papel das BPCPs no ciclo do Zn é multifacetado. Além de solubilizar o Zn, as bactérias também podem influenciar a absorção de Zn pelas plantas por meio de mecanismos complexos. Em um estudo específico, foi descoberto que as bactérias promotoras de crescimento de plantas podem impactar a absorção de Zn pelo milho, por meio de mecanismos de ação elucidados usando mutantes funcionais de *Azospirillum brasilense* (Housh *et al*., 2021)
.

Tabela 7 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Zn (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	32,66Ba	40,33Aa	
Azospirillum brasilense	42,33Aa	40,33Aa	
Bacillus subtilis	33,33Ba	43,33Aa	21,53
Pseudomonas fluorescens	39,33Aa	42,66Aa	
Trichoderma harzianum	32,66Aa	36,66Aa	
DMS	15,00		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Com relação a concentração de macronutrientes nos grãos de gergelim, não se observou diferença entre cultivares de gergelim, com exceção da concentração de Ca (Tabela 8), em que o cultivar Trebol foi superior ao Anahí em 7,3%.

Para inoculação com microrganismos apenas houve diferença significativa para concentração de N nos grãos, sendo que o tratamento com *Pseudomonas fluorescens* se destacou positivamente, sendo superior ao controle e a inoculação com *Bacillus subtilis* (Tabela 8). Este resultado é interessante, pois maior concentração de N nos grãos é indicativo de maior teor de proteínas.

Tabela 8 – Valores médios das concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S nos grãos, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de gergelim	N	P	K	Ca	Mg	S
	---------- g kg^{-1} ----------					
Trebol	36,74	8,06	9,04	7,92a	4,06	2,10
Anahí	37,44	8,22	8,10	7,34b	4,17	2,18
DMS	0,99	0,26	0,53	0,27	0,16	0,25
Inoculação						
Controle	36,35b	8,01	8,88	7,78	4,11	2,13
Azospirillum brasilense	36,78ab	8,38	9,23	7,63	4,13	2,18
Bacillus subtilis	36,33b	8,11	8,98	7,83	4,06	2.01
Pseudomonas fluorescens	38,73a	8,23	9,05	7,66	4,13	2,28
Trichoderma harzianum	37,26ab	7,95	9,21	7,23	4,14	2,10
DMS	2,26	0,59	0,53	1,27	0,37	0,56
Teste F						
Cultivares (C)	2,179^{ns}	1,64^{ns}	0,22^{ns}	4,60*	2,07^{ns}	0,52^{ns}
Inoculação (I)	3,44*	1,53^{ns}	1,45^{ns}	0,61^{ns}	0,10^{ns}	0,54^{ns}
C*I	0,42 ^{ns}	0,17^{ns}	1,72^{ns}	0,81^{ns}	0,42^{ns}	1,85^{ns}
Média Geral	37,10	8,14	9,07	7,63	4,11	2,24
CV (%)	3,53	4,20	3,41	9,70	5,23	15,33

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Quanto a concentração de micronutrientes nos grãos de gergelim, não se constatou diferença entre cultivares de gergelim, com exceção da concentração de Mn (Tabela 9), em que o cultivar Trebol foi superior ao Anahí em 8,1%.

Em relação a inoculação com microrganismos para concentração de micronutrientes nos grãos apenas se observou diferença significativa para concentração de Zn nos grãos, sendo que o tratamento com *Azospirillum brasilense* se destacou positivamente, sendo superior a inoculação com *Bacillus subtilis* (Tabela 9). Este resultado é importante quando se pensa em biofortificação de grãos com Zn.

Um estudo investigou a influência das BPCPs e cianobactérias, isoladas e em combinação, no enriquecimento de micronutrientes e produtividade em uma sequência de cultivo de arroz-trigo, revelando diferenças significativas na atividade de desidrogenase do solo e nos micronutrientes, sugerindo um papel benéfico destas bactérias no enriquecimento de micronutrientes (Rana *et al*., 2015).

As interações entre plantas e microrganismos, que ocorrem geralmente na rizosfera, exercem efeitos benéficos na nutrição e crescimento das plantas, proporcionando resistência e/ou proteção contra estresses bióticos e abióticos (Katsenios *at al*., 2022). Em estudo também

realizado por Katsenios *et al.* (2022), foi avaliado o impacto das bactérias promotoras de crescimento de plantas na produtividade de grãos, conteúdo de proteínas e recuperação de ureia ^{15}N em milho, destacando o papel positivo das BPCPs na promoção do crescimento das plantas e na biofortificação dos grãos.

Tabela 9 – Valores médios das concentrações de B, Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de gergelim	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----------	----------	mg kg^{-1}	----------	----------
Trebol	18,73	23,13	92,00	23,56a	67,93
Anahí	18,46	20,73	93,06	21,66b	65,33
DMS	2,49	4,19	3,87	1,05	2,93
Inoculação					
Controle	19,50	24,16	92,00	21,16	64,50ab
Azospirillum brasilense	21,00	21,83	98,50	23,00	69,83a
Bacillus subtilis	16,00	20,33	87,83	22,83	63,16b
Pseudomonas fluorescens	18,66	20,50	96,83	23,33	67,66ab
Trichoderma harzianum	17,83	22,83	87,50	22,50	68,00ab
Teste F					
Cultivares (C)	0,05^{ns}	1,42^{ns}	0,32^{ns}	12,56**	3,41^{ns}
Inoculação (I)	1,94^{ns}	0,51^{ns}	5,88**	2,18^{ns}	3,00*
C*I	0,50^{ns}	0,20^{ns}	4,73**	0,19^{ns}	0,27^{ns}
Média Geral	18,60	21,93	92,53	22,56	66,63
DMS	5,67	9,50	3,87	2,40	6,66
CV (%)	17,64	25,08	5,50	6,26	5,79

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Ao se analisar o desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Fe nos grãos (Tabela 10), o cultivar Trebol, obteve maiores concentrações de Fe quando inoculada com *Azospirillum brasilense* e no controle. Em contrapartida, a menor concentração de Fe foi obtida com a inoculação de *Trichoderma harzianum*, apresentando 82,33 mg kg^{-1}.

Quanto ao cultivar Anahí, a concentração de Fe nos grãos mais elevada, de 100,00 mg kg^{-1}, foi obtida quando a planta foi inoculada com *Azospirillum brasilense* (Tabela 10), porém sem diferir das demais inoculações com microrganismos. Por outro lado, a menor concentração, de 85,00 mg kg^{-1}, foi observada com o tratamento controle. Houve aumento de cerca de 17,65%

na concentração de Fe com a inoculação de *Azospirillum brasilense* em relação ao tratamento controle (Tabela 10).

Examinando os dados de forma geral e levando em consideração todas as inoculações, a maior concentração de Fe foi registrado no cultivar Anahí, quando inoculada com *Azospirillum brasilense*, atingindo 100,00 mg kg^{-1}. Em contraste, o menor valor foi observado no cultivar Trebol com a inoculação de *Trichoderma harzianum*, com uma concentração de 82,33 mg kg^{-1}. A diferença percentual entre esses valores extremos é de aproximadamente 21,46%.

A inoculação com bactérias promotoras de crescimento melhora o crescimento das plantas, aumenta o conteúdo de ferro, e impulsiona as defesas das plantas, conferindo resistência a patógenos e pragas. Este tipo de interação entre ferro e BPCPs tem sido descrito como uma "ligação crucial", com potencial para usar micróbios que induzem a resistência sistêmica induzida a doenças, como infecções por bactérias ou vírus (Schmidt *et al*., 2020).

Tabela 10 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a concentração de Fe (mg kg^{-1}) nos grãos de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	99,00Aa	85,00Bb	
Azospirillum brasilense	97,00Aa	100,00Aa	
Bacillus subtilis	87,00Aab	88,66Aab	12,44
Pseudomonas fluorescens	94,66Aab	99,00Aa	
Trichoderma harzianum	82,33Bb	92,66Aab	
DMS	8,67		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

5.2 Acúmulo de nutrientes na parte aérea e grãos

Não se observou diferença entre cultivares de gergelim para o acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas (Tabela 11). Contudo, vale destacar que o cultivar Trebol acumulou 288,90 mg planta $^{-1}$ de N, enquanto o Anahí acumulou 309,66 mg planta $^{-1}$ de N, sendo mais elevado em 7,2%.

Para inoculação com microrganismos, dentre os macronutrientes, apenas houve diferença significativa para o acúmulo de N na parte aérea das plantas, sendo que todos os tratamentos inoculados se sobressaíram em relação ao controle (Tabela 11). O tratamento com

Trichoderma harzianum foi o que mais favoreceu o acúmulo de N, com um aumento de 11,4% em comparação ao controle. Ressalta-se ainda, que a inoculação com *Trichoderma harzianum* promoveu um incremento de 9,2% no acúmulo de Mg em relação ao controle (Tabela 11).

Em relação aos macronutrientes, uma pesquisa indicou que a aplicação de macronutrientes pode influenciar significativamente o crescimento e os componentes de produção do gergelim, demonstrando uma resposta diferencial nas cultivares de gergelim em diferentes localidades ao longo de dois anos (Savarino *et al*., 2021). Foi observado que a combinação de BPCPs com macronutrientes como N, P, K, Ca e Mg pode ser uma abordagem ambientalmente sustentável para reduzir o uso de fertilizantes minerais, aumentando a produtividade das culturas, a composição fitoquímica e o conteúdo mineral (Helalya *et al*., 2021).

Tabela 11 – Valores médios dos acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da planta, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de gergelim	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
	---------- mg planta^{-1} ----------					
Trebol	288,90	81,66	430,99	236,33	96,75	64,23
Anahí	309,66	83,19	428,40	238,77	93,17	60,40
DMS	25,93	13,69	49,79	29,04	14,66	12,28
Inoculação						
Controle	232,89b	80,93	437,52	236,41	86,55	66,54
Azospirillum brasilense	294,51a	79,86	402,93	244,56	87,80	57,82
Bacillus subtilis	245,36a	88,49	457,10	236,59	97,90	65,07
Pseudomonas fluorescens	306,72a	89,28	434,51	259,56	103,79	64,39
Trichoderma harzianum	326,36a	73,57	416,40	210,63	98,76	57,73
DMS	58,63	31,06	112,97	65,89	33,26	27,88
Teste F						
Cultivares (C)	2,78^{ns}	0,05^{ns}	0,01^{ns}	0,03^{ns}	0,25^{ns}	0,42
Inoculação (I)	8,95**	0,79^{ns}	0,60^{ns}	1,30^{ns}	0,90^{ns}	0,40
C*I	2,79^{ns}	0,70^{ns}	0,53^{ns}	0,74^{ns}	0,45^{ns}	0,30
Média Geral	299,28	82,43	429,69	237,55	94,96	62,31
CV (%)	11,38	21,81	15,21	16,05	20,27	25,89

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Também não se observou diferença entre cultivares de gergelim para o acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas (Tabela 12). Contudo, vale destacar para os acúmulos de Mn e Zn, respectivamente, que o cultivar Anahí foi aproximadamente 12,6 e 10,9% mais alto quando comparado ao cultivar Trebol (Tabela 12).

Com relação a inoculação com microrganismos, o tratamento controle resultou em um acúmulo de Cu de 0,781 mg planta^{-1}, superando os demais tratamentos inoculados (Tabela 12). Para os acúmulos de B, Fe, Mn e Zn na parte aérea foi observado efeito significativo apara interação cultivares e inoculação.

O acúmulo excessivo de cobre em plantas pode resultar em toxicidade, afetando negativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, uma vez que altera reações bioquímicas, fisiológicas e morfológicas nas plantas. O cobre é um mineral essencial para o crescimento e desenvolvimento adequados das plantas; no entanto, efeitos negativos sobre o crescimento das plantas e a produtividade são observados quando há excesso desse micronutriente, com isso existem bactéria que facilitam o acúmulo podendo causar fitotoxicidade (Mir *at al*., 2021).

Tabela 12 – Valores médios dos acúmulos de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da planta, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de gergelim	**B**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**
	----------	----------	mg planta^{-1}	----------	----------
Trebol	1,361	0,560	6,821	1,337	0,805
Anahí	1,222	0,523	5,183	1,506	0,833
DMS	0,11	0,054	0,703	0,190	0,076
Inoculação					
Controle	1,353	0,781a	5,082	1,388	0,776
Azospirillum brasilense	1,272	0,510bc	6,453	1,333	0,810
Bacillus subtilis	1,321	0,478bc	5,185	1,603	0,817
Pseudomonas fluorescens	1,223	0,541b	6,201	1,370	0,912
Trichoderma harzianum	1,272	0,399c	7,097	1,415	0,781
DMS	0,266	0,123	1,596	0,431	0,172
Teste F					
Cultivares (C)	5,961*	1,975^{ns}	23,47**	3,446*	0,555^{ns}
Inoculação (I)	0,633^{ns}	24,347**	5,193**	1,072^{ns}	1,796^{ns}
C*I	3,024*	2,157^{ns}	21,778**	2,918*	3,948*
Média Geral	1,291	0,542	6,00	1,422	0,819
CV (%)	11,94	13,18	15,39	17,56	12,21

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Para o acúmulo de B na parte aérea, no cultivar Trebol sem inoculação, observou-se uma média de 1,287 mg planta^{-1}, enquanto no cultivar Anahí, essa média foi de 1,425 mg planta^{-1}. Isso sugere que as cultivares Trebol e Anahí têm capacidades similares de acúmulo de

B sem inoculação, com uma diferença mínima de apenas 10,76%. No caso da inoculação com *Azospirillum brasilense*, o cultivar Trebol apresentou uma média de 1,506 mg planta^{-1}, enquanto que no cultivar Anahí a média foi de 1,038 mg planta^{-1}. Isso indica que o cultivar Trebol superou o Anahí no acúmulo de B em aproximadamente 45,09% (Tabela 13).

Ao observar de maneira geral em todas as inoculações, o maior acúmulo de B foi observado com a inoculação de *Azospirillum brasilense* no cultivar Trebol, com um valor médio de 1,506 mg planta^{-1}. Por outro lado, no cultivar Anahí verificou-se no controle o maior acúmulo de B na parte aérea do gergelim, sendo maior que com a inoculação de *Azospirillum brasilense* (Tabela 13).

Tabela 13 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias de acúmulo de B (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	1,287Aa	1,425Aa	
Azospirillum brasilense	1,506Aa	1,038Bb	
Bacillus subtilis	1,366Aa	1,293Aab	0,377
Pseudomonas fluorescens	1,322Aa	1,137Aab	
Trichoderma harzianum	1,326Aa	1,225Aab	
DMS	0,263		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Para o acúmulo de Fe na parte aérea, no cultivar Trebol para o controle, observou-se uma média de 3,714 mg planta^{-1}, enquanto no cultivar Anahí, essa média foi de 6,450 mg planta^{-1}. Isso sugere que o cultivar Anahí tem uma capacidade superior de acúmulo de Fe sem inoculação, representando um aumento de aproximadamente 73,67% em relação ao cultivar Trebol (Tabela 14). Para a inoculação com *Pseudomonas fluorescens*, o cultivar Trebol apresentou um acúmulo de 7,848 mg planta^{-1}, enquanto que no cultivar Anahí foi de 4,555 mg planta^{-1}, representando um aumento pronunciado de aproximadamente 72,33% no cultivar Trebol em relação à Anahí com essa inoculação, (Tabela 14). Por fim, ao observar a inoculação com *Trichoderma harzianum*, o cultivar Trebol teve um acúmulo de Fe de 10,416 mg planta^{-1}, enquanto isso, no cultivar Anahí foi de 3,777 mg planta^{-1}. Isso indica que a inoculação com *Trichoderma harzianum* foi significativamente mais eficaz no cultivar Trebol (Tabela 14).

Tabela 14 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias de acúmulo de Fe (mg kg^{-1}) na parte aérea do gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	3,714Bd	6,450Aa	
Azospirillum brasilense	6,764Abc	6,142Aa	
Bacillus subtilis	5,362Acd	5,009Aab	1,573
Pseudomonas fluorescens	7,848Ab	4,555Bab	
Trichoderma harzianum	10,416Aa	3,777Bb	
DMS	2,257		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Para o acúmulo de Mn na parte aérea, no cultivar Trebol sem inoculação (Controle), observou-se uma média de 1,060 mg $planta^{-1}$, enquanto no cultivar Anahí, essa média foi de 1,716 mg $planta^{-1}$. Isso sugere que o cultivar Anahí tem uma capacidade superior de acúmulo de Mn sem inoculação, representando um aumento de aproximadamente 61,89% em relação ao cultivar Trebol (Tabela 15).

Em relação ao efeito de inoculação dentro de cultivares de gergelim para o acúmulo de Mn na parte aérea, tanto para o Trebol como para o Anahí, não foi constatada diferença entre os tratamentos com inoculação (Tabela 15).

Tabela 15 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias de acúmulo de Mn (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	1,060Ba	1,716Aa	
Azospirillum brasilense	1,418Aa	1,248Aa	
Bacillus subtilis	1,485Aa	1,721Aa	0,425
Pseudomonas fluorescens	1,224Aa	1,516Aa	
Trichoderma harzianum	1,499Aa	1,331Aa	
DMS	0,144		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Com relação ao acúmulo de Zn na parte aérea, no cultivar Trebol sem inoculação, observou-se uma média de 0,656 mg $planta^{-1}$, enquanto no cultivar Anahí, essa média foi de 0,896 mg $planta^{-1}$, isso sugere que o cultivar Anahí tem uma capacidade superior de acúmulo

de Zn sem inoculação (Tabela 16). Não foi observada diferença significativa entre cultivares para os demais tratamentos com inoculação de microrganismos.

Ao observar de maneira geral todas as inoculações, o maior acúmulo de Zn na parte aérea foi observado com a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* no cultivar Trebol, com um valor médio de 0,979 mg planta^{-1}, sendo maior que o controle. Por outro lado, o menor acúmulo deste micronutriente foi evidenciado no cultivar Trebol no tratamento controle, apresentando um valor médio de 0,742 mg planta^{-1}. A diferença percentual entre esses dois extremos é de aproximadamente 49,23% (Tabela 16). Para o cultivar Anahí não se verificou diferença entre as inoculações para o acúmulo de Zn na parte aérea.

Tabela 16 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias de acúmulo de Zn (mg kg^{-1}) na parte aérea de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	0,656Bb	0,896Aa	
Azospirillum brasilense	0,863Aab	0,757Aa	
Bacillus subtilis	0,742Aab	0,891Aa	0,170
Pseudomonas fluorescens	0,979Aa	0,844Aa	
Trichoderma harzianum	0,786Aab	0,775Aa	
DMS	0,244		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Quanto ao acúmulo de macronutrientes nos grãos de gergelim (Tabela 17), o cultivar Trebol acumulou 127,92 mg planta^{-1} de N, enquanto Anahí acumulou 157,48 mg planta^{-1}, sendo este último superior em aproximadamente 23% em relação a Trebol. Para o acúmulo de P, o Trebol foi inferior com 28,19 mg planta^{-1}, enquanto o Anahí obteve 34,57 mg P planta^{-1}, indicando um aumento de cerca de 22,6% (Tabela 17).

Em relação ao acúmulo de K, o Trebol acumulou 31,62 mg planta^{-1}, enquanto Anahí apresentou 38,31 mg planta^{-1}, sendo este último superior em 21,1%. Para o acúmulo de Ca nos grãos não houve diferença significativa, porém o Trebol teve 28,04 mg planta $^{-1}$, e Anahí 30,89 mg planta^{-1}, uma diferença de quase 10,2%. Com relação ao acúmulo de Mg, o Trebol registrou 14,15 mg planta^{-1} e Anahí 17,49 mg planta $^{-1}$, sendo superior em aproximadamente 23,6%. Quanto ao acúmulo de S não houve diferença significativa, contudo o Trebol acumulou 7,35 mg planta^{-1} e Anahí 9,16 mg planta^{-1}, sendo esta diferença de cerca de 24,7% (Tabela 17).

Analisando os tratamentos com inoculações, o *Azospirillum brasilense* se destacou por promover acúmulos de macronutrientes mais elevados nos grãos, porém apenas para acúmulo de P houve efeito significativo, sendo este maior apenas em relação ao *Trichoderma harzianum* (Tabela 17).

Tabela 17 – Valores médios dos acúmulos nos grãos de N, P, K, Ca, Mg e S, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Cultivares de Gergelim	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
	---------- mg planta^{-1} ----------					
Trebol	127,92b	28,19b	31,62b	28,04	14,15b	7,35
Anahí	157,48a	34,57a	38,31a	30,89	17,49a	9,16
DMS	24,54	5,43	6,53	6,56	2,69	1,83
Inoculação						
Controle	123,45	27,23ab	30,34	26,70	13,96	7,25
Azospirillum brasilense	172,79	39,41a	43,60	36,44	19,42	10,31
Bacillus subtilis	148,60	33,20ab	36,54	31,66	16,57	8,29
Pseudomonas fluorescens	142,82	30,26ab	33,17	28,12	15,21	8,37
Trichoderma harzianum	125,83	26,82b	30,34	24,41	13,93	7,07
DMS	55,68	12,32	14,81	14,90	6,10	4,15
Teste F						
Cultivares (C)	6,31*	5,99*	4,56*	0,81^{ns}	6,69*	4,25^{ns}
Inoculação (I)	2,30^{ns}	3,15*	2,36^{ns}	1,78^{ns}	2,51^{ns}	1,72^{ns}
C*I	1,11^{ns}	1,00^{ns}	0,59^{ns}	0,96^{ns}	0,88^{ns}	0,63^{ns}
Média Geral	142,70	31,38	34,96	29,47	15,82	8,26
CV (%)	19,59	12,72	16,52	19,26	22,34	29,12

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Com relação aos acúmulos de micronutrientes nos grãos de gergelim, não foi observada diferença entre cultivares para Cu e Mn (Tabela 18). Para o acúmulo de B, o cultivar Trebol obteve um acúmulo de 0,057 mg planta^{-1}, enquanto Anahí apresentou 0,074 mg planta^{-1}, sendo maior em 29,8%. Quanto ao acúmulo de Fe, observa-se que o cultivar Trebol acumulou 0,331 mg planta^{-1} e o Anahí destacou-se com 0,390 mg planta^{-1}, sendo superior em 17,8%. Para acúmulo de Zn nos grãos, o Trebol obteve 0,225 mg planta^{-1} e Anahí apresentou 0,275 mg planta^{-1}, sendo maior em 22,2% (Tabela 18).

Quanto a inoculação com microrganismos, apenas para o acúmulo de Cu nos grãos não foi constatada diferença entre os tratamentos (Tabela 18). Assim como verificado para acúmulo de macronutrientes nos grãos, a inoculação com *Azospirillum brasilense* destacou-se

positivamente para os acúmulos de B, Fe e Zn, sendo modo geral superior ao controle (Tabela 18).

As BPCPs também são conhecidas por melhorar o crescimento das plantas e a produtividade por meio da solubilização de nutrientes, melhorando a disponibilidade de nutrientes, produzindo fito hormônios e suportando o crescimento das plantas sob estresse abiótico, características importantes para uma agricultura sustentável e redução da poluição ambiental com fertilizantes químicos e pesticidas, aumentando a disponibilidade e consequentemente o acúmulo (Smith, 2020).

Tabela 18 – Valores médios dos acúmulos nos grãos de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de gergelim	**B**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**
	---------- mg planta^{-1} ----------				
Trebol	0,057b	0,076	0,331b	0,086	0,225b
Anahí	0,074a	0,089	0,390a	0,092	0,275a
DMS	0,012	0,014	0,057	0,014	0,029
Inoculação					
Controle	0,051b	0,068	0,343ab	0,081	0,187c
Azospirillum brasilense	0,086a	0,105	0,466a	0,109	0,313a
Bacillus subtilis	0,063ab	0,077	0,358ab	0,092	0,249abc
Pseudomonas fluorescens	0,068ab	0,081	0,355ab	0,085	0,275ab
Trichoderma harzianum	0,060ab	0,079	0,280b	0,078	0,227bc
DMS	0,028	0,033	0,129	0,032	0,066
Teste F					
Cultivares (C)	7,40*	3,533^{ns}	4,692*	0,786^{ns}	12,303**
Inoculação (I)	3,81*	2,969^{ns}	4,747**	2,540^{ns}	9,111**
C*I	1,41^{ns}	2,436^{ns}	2,091^{ns}	1,651^{ns}	2,520^{ns}
Média Geral	0,06	0,082	0,360	0,089	0,250
CV (%)	10,57	13,57	20,84	11,03	15,47

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

5.3 Análises fisiológicas

Para as análises fisiológicas aferidas aos 60 DAE das plantas de gergelim (Tabela 19), constatou-se efeito significativo da interação cultivares e inoculação para fotossíntese líquida (*A*- μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) e condutância estomática (g_s- mol H_2O m^{-2} s^{-1}). Contudo, não foi

observado efeito dos tratamentos e cultivares na transpiração (*E*- mmol H_2O m^{-2} s^{-1}) e concentração interna de CO_2 (C_i- µmol CO_2 mol ar^{-1}) na planta.

Tabela 19 – Valores médios da fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (g_s), e a concentração interna de CO_2 (C_i), obtida aos 60 DAE, após a aplicação da inoculação de BPCPs nos cultivares de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de gergelim	***A*** µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}	***E*** mmol H_2O m^{-2} s^{-1}	g_s mol H_2O m^{-2} s^{-1}	C_i µmol CO_2 mol ar^{-1}
Trebol	19,41	4,69	8,18	278,05
Anahí	18,62	4,72	9,13	291,61
DMS	1,86	0,39	0,58	14,47
Inoculação				
Controle	12,91	4,63	5,02	296,12
Azospirillum brasilense	22,45	5,01	9,41	275,83
Bacillus subtilis	18,32	4,66	7,40	294,00
Pseudomonas fluorescens	18,05	4,63	8,40	290,75
Trichoderma harzianum	24,31	4,65	13,12	263,50
DMS	4,22	0,90	1,31	32,72
Teste F				
Cultivares (C)	$0,75^{ns}$	$0,027^{ns}$	11,20**	$3,68^{ns}$
Inoculação (I)	19,15**	$0,482^{ns}$	92,63**	$3,22^{ns}$
C*I	3,55*	$0,542^{ns}$	23,33**	$0,732^{ns}$
Média Geral	19,03	4,70	8,63	248,47
CV (%)	14,75	12,75	10,10	7,64

**, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando o desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da fotossíntese líquida (*A*), a inoculação com *Bacillus subtilis* no cultivar Trebol registrou 15,55 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} e o cultivar Anahí apresentou 21,10 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Isso indica que o cultivar Anahí teve uma taxa de assimilação líquida de CO_2 cerca de 35,8% maior quando inoculada com *Bacillus subtilis* em comparação com a Trebol (Tabela 20). Para a inoculação com *Trichoderma harzianum* no cultivar Trebol, a medida foi de 26,70 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 21,92 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Isso sugere que, sob essa inoculação, o cultivar Trebol tem uma taxa de assimilação líquida de CO_2 aproximadamente 21,8% maior do que o Anahí (Tabela 20).

As menores fotossínteses líquidas (*A)* para ambos cultivares foram obtidas no controle, enquanto as maiores foram com a inoculação com *Trichoderma harzianum*, porém sem diferir no cultivar Anahí das inoculações com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* (Tabela 20).

A fotossíntese líquida (*A*) é uma análise importante para analisar o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo diretamente influenciada pela qualidade da luz, que afeta a

taxa de fotossíntese líquida, o crescimento da área foliar, a biomassa, o conteúdo de pigmentos e as mudanças na transcrição, conteúdo de fotossintatos e atividade enzimática antioxidante (Xiao *et al*., 2021).

Tabela 20 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da fotossíntese líquida (*A*- µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 60 DAE do gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	14,05Ad	11,77Ac	
Azospirillum brasilense	22,62Ab	22,10Aa	
Bacillus subtilis	15,55Bd	21,10Aa	6,34
Pseudomonas fluorescens	18,15Ac	17,95Ab	
Trichoderma harzianum	26,70Aa	21,92Ba	
DMS	4,98		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando o desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente as médias da condutância estomática (g_s), a inoculação com *Azospirillum brasilense* no cultivar Trebol foi de 7,37 µmol H_2O m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 13,50 µmol H_2O m^{-2} s^{-1}. A diferença entre estes foi de 83,18%, o que sugere que o cultivar Anahí tem uma capacidade superior de condutância estomática com *Azospirillum brasilense*. Quando inoculadas com *Bacillus subtilis*, o cultivar Trebol registrou 6,27 µmol H_2O m^{-2} s^{-1} e o cultivar Anahí apresentou 8,52 µmol H_2O m^{-2} s^{-1}. Isso indica que o cultivar Anahí propiciou uma condutância estomática cerca de 35,88% maior quando inoculada com *Bacillus subtilis* em comparação com a Trebol (Tabela 21).

Para a inoculação com *Trichoderma harzianum* no cultivar Trebol, a medida foi de 12,40 µmol H_2O m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 13,35 µmol H_2O m^{-2} s^{-1}. Isso sugere que, sob essa inoculação, o cultivar Anahí teve condutância estomática aproximadamente 7,66% maior do que a Trebol (Tabela 21).

A condutância estomática é crucial por ligar o uso de água pela planta e a absorção de carbono, sendo um processo crítico para o componente de superfície terrestre dos modelos climáticos (Smith *et al*., 2021).

Tabela 21 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da condutância estomática (g_s- mol H_2O m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 60 DAE do gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	6,40Ad	3,65Bc	
Azospirillum brasilense	7,37Bc	13,50Aa	
Bacillus subtilis	6,27Bd	8,52Ab	1,96
Pseudomonas fluorescens	8,47Ab	8,32Ab	
Trichoderma harzianum	12,40Ba	13,85Aa	
DMS	1,26		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Com relação as análises fisiológicas medidas aos 75 DAE das plantas de gergelim (Tabela 22), constatou-se novamente efeito significativo da interação cultivares e inoculação para fotossíntese líquida (A- µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) e condutância estomática (g_s- mol H_2O m^{-2} s^{-1}). Entretanto, assim como na primeira época de avaliação, não foi observado efeito dos tratamentos e cultivares na transpiração (E- mmol H_2O m^{-2} s^{-1}) e concentração interna de CO_2 (C_i- µmol CO_2 mol ar^{-1}) na planta.

Tabela 22 – Valores médios da fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s), e a concentração interna de CO_2 (C_i), obtida aos 75 DAE, a em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Cultivares de gergelim	***A***	***E***	***g_s***	***C_i***
	µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}	mmol H_2O m^{-2} s^{-1}	mol H_2O m^{-2} s^{-1}	µmol CO_2 mol ar^{-1}
Trebol	20,18	4,79	6,53	275,82
Anahí	17,32	4,83	6,83	276,75
DMS	1,64	0,33	0,66	18,89
Inoculação				
Controle	13,69	4,92	5,12	280,75
Azospirillum brasilense	24,23	4,87	6,25	276,42
Bacillus subtilis	16,23	4,45	5,12	267,50
Pseudomonas fluorescens	17,63	4,83	6,46	275,77
Trichoderma harzianum	23,52	4,82	11,38	276,80
DMS	3,86	0,78	1,57	44,64
Teste F				
Cultivares (C)	12,92**	$0,081^{ns}$	$0,839^{ns}$	$0,010^{ns}$
Inoculação (I)	27,13**	$0,742^{ns}$	40,96**	$0,172^{ns}$
C*I	12,64*	$0,501^{ns}$	8,76**	$0,361^{ns}$
Média Geral	18,80	4,81	6,67	276,27
CV (%)	12,14	9,59	13,89	9,49

**, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

No desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da fotossíntese líquida (*A*), sob a inoculação com *Azospirillum brasilense* no cultivar Trebol teve uma medida de 27,02 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 22,15 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Logo, sob essa inoculação, o cultivar Trebol foi aproximadamente 22,06% maior em *A* do que o Anahí (Tabela 23). Para a inoculação com *Trichoderma harzianum* no cultivar Trebol, a medida foi de 26,32 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 19,31 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Isso sugere que, sob essa inoculação, o cultivar Trebol foi superior ao Anahí em aproximadamente 36,38% (Tabela 23).

Assim como na primeira época desta avaliação, as menores fotossíntese líquida (*A)* para ambos cultivares foram obtidas no controle. Contudo, as maiores *A* foram obtidas com a inoculação com *Azospirillum brasilense,* porém sem diferir no cultivar Trebol da inoculação com *Trichoderma harzianum* (Tabela 23).

Tabela 23 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da fotossíntese líquida (*A*- µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 75 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	14,04Ab	13,35Ae	
Azospirillum brasilense	27,02Aa	22,15Ba	
Bacillus subtilis	15,95Ab	16,50Ac	3,78
Pseudomonas fluorescens	19,01Ab	15,90Ad	
Trichoderma harzianum	26,32Aa	19,31Bb	
DMS	5,53		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando o desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente as médias da condutância estomática (g_s) (Tabela 24), a inoculação com *Azospirillum brasilense* no cultivar Trebol teve uma medida de 7,13 µmol H_2O m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 5,60 µmol H_2O m^{-2} s^{-1}. Sendo assim, sob essa inoculação, o cultivar Trebol teve uma condutância estomática aproximadamente 27,32% maior do que a Anahí. Quando inoculados com *Pseudomonas fluorescens*, o cultivar Trebol apresentou 5,44 µmol H_2O m^{-2} s^{-1} e o cultivar Anahí teve 7,75 µmol H_2O m^{-2} s^{-1}. Isso representa uma diferença de aproximadamente 42,46%, indicando que o cultivar Anahí possui uma maior condutância estomática quando inoculado com *Pseudomonas fluorescens* em relação à Trebol. Para a

inoculação com *Trichoderma harzianum* no cultivar Trebol, a medida foi de 10,33 μmol H_2O m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 12,95 μmol H_2O m^{-2} s^{-1}. Isso indica, sob essa inoculação, o cultivar Anahí propiciou uma condutância estomática aproximadamente 25,28% maior do que o cultivar Trebol (Tabela 24).

Tabela 24 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da condutância estomática (g_s- mol H_2O m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 75 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	5,77Ab	4,47Ad	
Azospirillum brasilense	7,13Ab	5,60Bc	
Bacillus subtilis	4,20Ac	6,05Ac	0,86
Pseudomonas fluorescens	5,44Bb	7,75Ab	
Trichoderma harzianum	10,33Ba	12,95Aa	
DMS	2,24		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade
Fonte: Produção do próprio autor.

Quanto as análises fisiológicas medidas aos 90 DAE das plantas de gergelim (Tabela 25), constatou-se novamente efeito significativo da interação cultivares e inoculação para fotossíntese líquida (A- μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) e condutância estomática (g_s- mol H_2O m^{-2} s^{-1}) e para transpiração (E- mmol H_2O m^{-2} s^{-1}) e concentração interna de CO_2 (C_i- μmol CO_2 mol ar^{-1}) na planta.

Tabela 25 – Valores médios da fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (g_s), e a concentração interna de CO_2 (C_i), obtida aos 90 DAE, em relação do cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de Gergelim	***A*** μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}	***E*** mmol H_2O m^{-2} s^{-1}	g_s mol H_2O m^{-2} s^{-1}	C_i μmol CO_2 mol ar^{-1}
Trebol	14,95	4,15	5,19	242,17
Anahí	20,79	4,08	6,18	231,25
DMS	1,71	0,58	0,78	19,10
Inoculação				
Controle	14,21	3,57	3,78	230,25
Azospirillum brasilense	20,60	4,61	7,33	243,75
Bacillus subtilis	19,77	4,60	5,80	247,25
Pseudomonas fluorescens	18,79	4,12	5,86	223,66
Trichoderma harzianum	15,01	3,72	5,55	255,75
DMS	4,12	1,42	1,66	46,00
Teste F				
Cultivares (C)	49,73**	$0,052^{ns}$	6,8*	1,40*
Inoculação (I)	9,76**	$2,179^{ns}$	10,82**	1,47*
C*I	6,69**	5,08**	15,36**	3,95**
Média Geral	17,76	19,88	5,67	236,57
CV (%)	13,38	4,11	19,15	11,19

**, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Em relação ao desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da fotossíntese líquida (*A*) (Tabela 26), analisando a inoculação com *Azospirillum brasilense* no cultivar Trebol teve uma medida de 15,25 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 25,95 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, sendo superior em 58,76%. Quando inoculadas com *Bacillus subtilis*, o cultivar Trebol registrou 14,58 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} e o cultivar Anahí apresentou 24,96 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Isso indica que o cultivar Anahí propiciou uma taxa de fotossíntese cerca de 71,35% maior quando inoculada com *Bacillus subtilis* em comparação com a Trebol (Tabela 26).

Sob a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* no cultivar Trebol apresentou 17,08 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} e o cultivar Anahí registrou 20,90 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Isso representa uma diferença de aproximadamente 22,44%, indicando que o cultivar Anahí promoveu maior taxa de fotossíntese quando inoculada com *Pseudomonas fluorescens* em relação à Trebol. Para a inoculação com *Trichoderma harzianum* no cultivar Trebol, a medida foi de 11,10 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 19,02 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Isso sugere que, sob essa

inoculação, o cultivar Anahí apresentou uma taxa de fotossíntese aproximadamente 71,26% maior do que o Trebol (Tabela 26).

A inoculação com *Pseudomonas fluorescens* promoveu a maior fotossíntese líquida para o cultivar Trebol, entretanto não houve diferença na *A* entre inoculações para o cultivar Anhaí (Tabela 26).

Tabela 26 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da fotossíntese líquida (*A*- μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 90 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	14,11Ab	14,32Aa	
Azospirillum brasilense	15,25Bb	25,95Aa	
Bacillus subtilis	14,58Bb	24,96Aa	4,01
Pseudomonas fluorescens	17,10Ba	20,90Aa	
Trichoderma harzianum	11,00Bc	19,02Aa	
DMS	5,84		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando o desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente as médias da transpiração (E) (Tabela 27), no controle a transpiração foi maior no cultivar Trebol. Para a inoculação com *Trichoderma harzianum* no cultivar Trebol, a transpiração foi de 2,67 μmol H_2O m^{-2} s^{-1}, enquanto no cultivar Anahí foi de 4,78 μmol H_2O m^{-2} s^{-1}. Isso indica que, sob essa inoculação, o cultivar Anahí teve uma taxa de transpiração aproximadamente 79,02% maior do que o Trebol, apresentando um valor expressivo (Tabela 27).

A maior transpiração no cultivar Trebol foi observado com a inoculação de *Bacillus subtilis*, e para o cultivar Anahí as maiores transpirações foram obtidas com a inoculação de *Azospirillum brasilense* e de *Trichoderma harzianum* (Tabela 27).

A análise transpiração (E) é de extrema importância para avaliar se a planta está passando por estresse, e conseguimos avaliar também o gradiente, pois com o aumento da transpiração mais nutrientes são transportados das raízes para regiões superiores nas plantas. Em condições de estresse térmico elevado, observa-se um aumento nas taxas de transpiração. Esse aumento na transpiração é avaliado dentro do contexto mais amplo de conservação de água

necessária para a tolerância à seca das culturas, sendo os mecanismos potenciais que subjazem a este aumento revisados em estudos recentes (SADOK *et al*., 2020).

Tabela 27 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da transpiração (*E*- mmol H_2O m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 90 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	4,55Ab	2,60Bc	
Azospirillum brasilense	4,31Ab	4,91Aa	
Bacillus subtilis	4,99Aa	4,21Ab	1,37
Pseudomonas fluorescens	3,95Ab	4,32Ab	
Trichoderma harzianum	2,67Bc	4,78Aa	
DMS	2,02		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Em relação ao desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da condutância estomática (*gs*) (Tabela 28), foi maior no controle para o cultivar Trebol. Quando inoculado com *Pseudomonas fluorescens*, a condutância estomática no cultivar Trebol foi de 4,38 mol H_2O m^{-2} s^{-1}, enquanto no Anahí foi de 7,47 mol H_2O m^{-2} s^{-1}. O cultivar Anahí, nesse caso, mostrou-se superior, com um aumento de aproximadamente 70,54%. Com a inoculação de *Trichoderma harzianum*, o cultivar Trebol apresentou em média 2,58 mol H_2O m^{-2} s^{-1} e o Anahí foi de 8,40 mol H_2O m^{-2} s^{-1}, indicando que a Anahí superou o Trebol em condutância estomática na presença desse fungo, com uma diferença impressionante de 225,58% (Tabela 28).

Verificou-se maior condutância estomática no cultivar Trebol para a inoculação com *Azospirillum brasilense*, enquanto para o cultivar Anahí as maiores condutância estomática foram obtidas com todas as inoculações com microrganismos (Tabela 28).

Tabela 28 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da condutância estomática (g_s- mol H_2O m^{-2} s^{-1}), na avaliação de 90 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	5,22Ab	2,35Bb	
Azospirillum brasilense	7,50Aa	7,17Aa	
Bacillus subtilis	4,95Ab	6,65Aa	1,82
Pseudomonas fluorescens	4,58Bc	7,47Aa	
Trichoderma harzianum	2,30Bd	8,80Aa	
DMS	2,66		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando o desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da concentração interna de CO_2 (Tabela 29), houve diferença apenas no controle, sendo para o cultivar Trebol. Não foi constatada diferença entre inoculações na concentração interna de CO_2 tanto para o cultivar Tremol como Anahí.

A análise da concentração interna de CO_2 (Ci) nas plantas tem se mostrado um aspecto fundamental para compreender a eficiência da fotossíntese, um processo crucial para a sobrevivência e crescimento das plantas, durante a fotossíntese, a concentração de dióxido de carbono nos espaços intercelulares de uma folha determina o fluxo de dióxido de carbono para a folha, sendo crucial a presença de aberturas estomática (MOSS; RAWLINS, 2000).

Tabela 29 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da concentração interna de CO_2 (C_i- µmol CO_2 mol ar $^{-1}$), na avaliação de 90 DAE de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021.

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	263,75Aa	196,75Ba	
Azospirillum brasilense	241,25Aa	246,25Aa	
Bacillus subtilis	262,50Aa	232,00Aa	54,83
Pseudomonas fluorescens	210,20Aa	240,50Aa	
Trichoderma harzianum	260,50Aa	251,00Aa	
DMS	65,11		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

5.4 Análises biométricas, produção e óleo

Os resultados para massa seca de raiz, volume de raiz e diâmetro do caule do gergelim não apresentaram diferença significativa para cultivares, inoculação com microrganismos promotores de crescimento de planta, assim como não houve efeito da interação destes fatores estudados (Tabela 30).

A absorção de água e nutrientes está diretamente associada à estrutura do sistema radicular das plantas (Hamedani *et al*., 2020), o bom desenvolvimento radicular também pode estar diretamente relacionado com aumentos produtivos, principalmente em períodos de estresse hídrico (SU *et al*., 2019). Com isso a inoculação contendo *Trichoderma harzianum* foi a que proporcionou a mais alta massa seca de raiz e volume de raiz, demostrando que há uma relação direta entre as duas variáveis. Bader *et al*. (2020) obteve resultado semelhantes na cultura do tomate.

Tabela 30 – Massa seca de raiz, volume de raiz, diâmetro do caule em relação aos cultivares e inoculação em gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de gergelim	Massa seca de raiz (g)	Volume de raiz (mL)	Diâmetro do caule (mm)
Trebol	5,87	4,14	4,46
Anahí	5,82	4,06	4,46
DMS	0,21	0,67	0,23
Inoculação			
Controle	5,77	3,71	4,30
Azospirillum brasilense	5,67	3,62	4,21
Bacillus subtilis	5,83	4,11	4,68
Pseudomonas fluorescens	5,93	4,27	4,46
Trichoderma harzianum	6,01	4,82	4,63
DMS	0,48	1,51	0,52
Teste F			
Cultivares (C)	$0,22^{ns}$	$0,05^{ns}$	$0,05^{ns}$
Inoculação (I)	$1,29^{ns}$	$1,67^{ns}$	$2,18^{ns}$
C*I	$0,88^{ns}$	$1,45^{ns}$	$1,13^{ns}$
Média Geral	5,84	4,10	4,46
CV (%)	6,41	22,66	9,13

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Não houve efeito significativo para a interação entre os fatores cultivares e inoculações, assim como não foi constatada diferença entre cultivares de gergelim para área foliar, massa

seca da parte aérea e altura de planta. Em relação a massa seca da parte aérea, constatou-se que fungo *Trichoderma harzianum* foi superior a inoculação com *A. brasilense* e ao controle apresentado um valor 19,64% maior que o tratamento controle (Tabela 31). Apesar de não haver efeito significativo para demais variáveis (Tabela 31), este fungo também promoveu resultados mais interessantes para área foliar e altura de planta de gergelim.

Tabela 31 – Área foliar, massa seca da parte área e altura de planta de cultivares de gergelim e em relação as inoculações com microrganismos. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de gergelim	Área foliar (cm²)	Massa seca da parte área (g)	Altura de planta (cm)
Trebol	19,77	21,45	86,00
Anahí	19,86	22,79	81,68
DMS	2,95	1,61	5,09
Inoculação			
Controle	17,61	19,95c	83,60
Azospirillum brasilense	19,53	20,14bc	82,62
Bacillus subtilis	19,40	22,89abc	79,33
Pseudomonas fluorescens	22,17	23,65ab	83,94
Trichoderma harzianum	20,37	23,87a	89,73
DMS	6,61	3,60	11,41
Teste F			
Cultivares (C)	$0,04^{ns}$	$2,64^{ns}$	$2,93^{ns}$
Inoculação (I)	$1,03^{ns}$	4,63*	$1,71^{ns}$
C*I	$0,68^{ns}$	$0,14^{ns}$	$2,28^{ns}$
Média Geral	19,81	22,10	83,844
CV (%)	26,00	12,71	10,60

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Para altura de inserção da primeira vagem e comprimento de vagem, houve interação significativa entre os fatores cultivares e inoculação. Entretanto, não se observou efeito significativo entre a interação dos fatores estudados para número de vagens por planta, sendo que o cultivar Anahí apresentou resultados semelhantes ao Trebol. Para inoculação com microrganismos não foi constatada diferença para o número de vagens por planta, embora tenha sido reportado que o *Azospirillum brasilense* e *Trichoderma harzianum* foram 15,10% e 3,6% superiores ao controle não inoculado, respectivamente (Tabela 32).

O aumento da área foliar está ligado diretamente com o aumento da massa seca, pois quanto maior a área foliar exposta a luz, maior tende a ser a quantidade de fotoassimilados produzidos, aumentando a atividade fisiológica e consequentemente o aumento da divisão

celular, produzindo assim um aumento de massa seca da planta (Jerusha *et al*., 2021). Yadav *et al*. (2021) demonstraram melhores resultados com a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* e fungo micorrízicos arbusculares em gergelim, corroborando com os resultados obtidos no presente experimento.

Tabela 32 – Altura de inserção da primeira vagem, comprimento de vagem, número de vagens de cultivares de gergelim e em relação as inoculações com microrganismos. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de Gergelim	Altura de inserção da primeira vagem (cm)	Comprimento de vagem (cm)	Número de vagens por planta
Trebol	39,66	24,44	19,20
Anahí	41,27	28,50	20,68
DMS	3,342	0,851	2,189
Inoculação			
Controle	39,10	26,65	19,20
Azospirillum brasilense	37,43	25,56	22,10
Bacillus subtilis	41,62	29,98	18,80
Pseudomonas fluorescens	43,58	27,84	19,70
Trichoderma harzianum	40,61	26,34	19,90
DMS	7,482	1,905	4,900
Teste F			
Cultivares (C)	0,96^{ns}	93,91*	1,88 ^{ns}
Inoculação (I)	1,63 ^{ns}	3,39**	1,12 ^{ns}
C*I	5,76*	3,02*	0,27 ^{ns}
Média Geral	40,46	26,47	19,94
CV (%)	14,40	5,61	19,14

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando o desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da análise altura de inserção da primeira vagem (Tabela 33), com a inoculação de *Azospirillum brasilense*, o cultivar Trebol apresentou uma altura média de 33,92 cm, e o cultivar Anahí apresentou 40,94 cm. O cultivar Anahí, nesse caso, é superior em cerca de 20,66%. Ao ser inoculada com *Bacillus subtilis*, o cultivar Trebol teve uma altura média de 41,70 cm, enquanto a Anahí foi de 41,54 cm. As duas cultivares têm alturas de inserção similares nessa condição.

Com a inoculação de *Pseudomonas fluorescens*, a altura média no cultivar Trebol foi de 41,74 cm, enquanto na Anahí foi de 45,42 cm. O cultivar Anahí supera o Trebol nesse cenário

por uma diferença de 8,83%. Com a inoculação de *Trichoderma harzianum*, o cultivar Trebol apresentou uma altura média de 48,62 cm, enquanto a Anahí foi de 32,60 cm. Neste caso, o cultivar Trebol tem uma vantagem significativa sobre a Anahí, com uma diferença de aproximadamente 49,14% (Tabela 33).

A avaliação de altura de plantas apresentou médias abaixo da comum para a cultura do gergelim, tendo médias de alturas comuns com cerca de 150 cm (Viliki *et al*., 2015). Esse fato se deve ao período de frio a qual a cultura foi exposta durante a condução do experimento, sendo que temperaturas a abaixo do ideal para a cultura (valores ideal 20 – 35 °C), causam um desequilíbrio fisiológico nas plantas, podendo gerar o aumento dos níveis de espécies reativas de oxigênio (ROS) e ativação de sistemas de eliminação de ROS, acúmulo de prolina, mudanças acentuadas na expressão gênica e vias bioquímicas que afetam a fotossíntese, causando um menor desenvolvimento das plantas (Viana *et al*., 2018; Megha *et al*., 2018; Ding *et al*., 2020). Contudo, evidencia-se que o cultivar Trebol apresentou maior altura de planta e a inoculação contendo *Trichoderma harzianum* promoveu os melhores resultados, resultado semelhante foi reportado por Hulifu *et al*. (2019), utilizando a mesma estirpe de fungo na cultura do *Pinus sylvestris*.

Segundo Junior *et al*. (2019) com a utilização do fungo *Trichoderma* sp. na cultura da soja, a altura foi 11,6% maior que o tratamento inoculado somente com *Bradyrhizobium japonicum,* com isso os resultados corroboram com os valores encontrados em no experimento.

Tabela 33 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise altura de inserção da primeira vagem (cm) de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	40,40Aab	37,80Aab	
Azospirillum brasilense	33,92Ab	40,94Aab	
Bacillus subtilis	41,70Aab	41,54Aab	7,47
Pseudomonas fluorescens	41,74Aab	45,42Aa	
Trichoderma harzianum	48,62Aa	32,60Bb	
DMS	10,58		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando o desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias do comprimento de vagem (Tabela 34), a inoculação de *Azospirillum brasilense,* o cultivar Trebol apresentou um comprimento médio de vagem de 23,76 cm, e o

cultivar Anahí teve 27,36 cm. A Anahí, nessa condição, possui vagens mais longas em comparação com a Trebol, com uma diferença de aproximadamente 15,17%. No caso da inoculação com *Bacillus subtilis*, o cultivar Trebol teve um comprimento médio de vagem de 24,76 cm e o cultivar Anahí teve 27,20 cm. Isso indica que, nessa condição, as vagens do cultivar Anahí são mais longas que as da Trebol, com uma diferença de aproximadamente 9,84%.

Quando inoculado com *Pseudomonas fluorescens*, o comprimento no cultivar Trebol foi de 25,36 cm, enquanto na Anahí foi de 30,32 cm. O cultivar Anahí, nesse caso, foi superior, com um aumento no comprimento das vagens de aproximadamente 19,59%. Por fim, com a inoculação de *Trichoderma harzianum*, o cultivar Trebol teve um comprimento médio de vagem de 23,12 cm e a Anahí de 29,56 cm, indicando que as vagens da Anahí são consideravelmente mais longas na presença desse inóculo, com uma diferença de aproximadamente 27,82%.

Tabela 34 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise comprimento de vagem (cm) de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	25,20Ba	28,10Aab	
Azospirillum brasilense	23,76Ba	27,36Ab	
Bacillus subtilis	24,76Ba	27,20Ab	1,90
Pseudomonas fluorescens	25,36Ba	30,32Aa	
Trichoderma harzianum	23,12Ba	29,56Aab	
DMS	2,69		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha paro cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Produção do próprio autor.

Verificou-se dentre os componentes de produção e porcentagem de óleo, interação significativa entre os fatores cultivares e inoculação apenas para massa de 100 grãos (Tabela 35). Para o número de grãos por 10 vagens e de grãos por planta não foi constatada diferença significativa entre os cultivares de gergelim e entre as inoculações com microrganismos. Com relação a produção por planta, esta foi maior para o cultivar Anahí, sendo 19,48% superior a produção do cultivar Trebol (Tabela 35).

Apesar de não ter sido observada diferença significativa para a produção de grãos por planta, vale destacar que o tratamento com *Pseudomonas fluorescens* incrementou esta produção em 17,54% em relação ao controle (Tabela 35).

A porcentagem de óleo nas sementes de gergelim não diferiu entre os cultivares estudados, assim como não foi influenciado pela inoculação com microrganismos, indicando assim que não ocorreu benefício e nem prejuízo destes tratamentos para essa avaliação de qualidade (Tabela 35).

Tabela 35 – Grãos em 10 vagens, grãos por planta, massa de 100 grãos, produção de grãos por planta e porcentagem de óleo de cultivares de gergelim e em relação as inoculações com microrganismos. Ilha Solteira - SP, 2021

Cultivares de Gergelim	Grãos em 10 vagens	Grãos por planta	Massa de 100 grãos (g)	Produção de grãos por planta (g)	Óleo (%)
Trebol	441,92a	837,44	0,418	3,49b	54,18
Anahí	442,04a	916,86	0,459	4,17a	53,46
DMS	39,47	125,53	0,036	0,59	1,44
Inoculação					
Controle	426,60	822,23a	0,456	3,71	53,41
Azospirillum brasilense	413,60	919,73a	0,461	4,23	54,28
Bacillus subtilis	444,50	821,72a	0,460	3,80	53,98
Pseudomonas fluorescens	489,90	966,48a	0,421	3,97	54,20
Trichoderma harzianum	435,30	855,60a	0,397	3,43	53,25
DMS	88,36	281,03	0,08	1,33	3,27
Teste F					
Cultivares (C)	$0,010^{ns}$	$1,646^{ns}$	5,062**	0,82**	$1,08^{ns}$
Inoculação (I)	$1,782^{ns}$	$0,853^{ns}$	$2,044^{ns}$	$5,39^{ns}$	$0,36^{ns}$
C*I	$0,621^{ns}$	$0,213^{ns}$	$3,733^{ns}$	$1,30^{ns}$	$0,52^{ns}$
Média Geral	441,98	877,15	0,439	3,83	53,82
CV (%)	15,57	17,95	14,46	16,09	3,52

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativas em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.
Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando o desdobramento da interação cultivar e inoculação, da análise de variância referente a médias da análise de comprimento de vagem (Tabela 36), a inoculação de *Azospirillum brasilense*, o cultivar Trebol apresentou um comprimento médio de vagem de 0,488 cm, e o cultivar Anahí teve um comprimento de 0,434 cm. A Trebol, nessa condição, possui vagens mais longas em comparação com a Anahí, com uma diferença de aproximadamente 12,44%. Na presença da inoculação com *Bacillus subtilis*, o comprimento médio da vagem para o cultivar Trebol foi de 0,420 cm, enquanto o cultivar Anahí registrou um comprimento de 0,500 cm. Isso indica que, nessa condição, as vagens do cultivar Anahí são mais longas que as da Trebol, com uma diferença de aproximadamente 19,05%.

Quando inoculado com *Pseudomonas fluorescens*, o cultivar Trebol teve um comprimento médio da vagem de 0,418 cm, e o cultivar Anahí de 0,424 cm. O cultivar Anahí, nesse caso, mostrou-se ligeiramente superior, com uma diferença de aproximadamente 1,44%. Com a inoculação de *Trichoderma harzianum*, o cultivar Trebol obteve um comprimento médio da vagem de 0,322 cm, enquanto a Anahí registrou 0,472 cm. Nessa condição, o cultivar Anahí superou significativamente a Trebol em termos de comprimento da vagem, com uma diferença de aproximadamente 46,58%.

Analisando-se os tratamentos contendo os microrganismos promotores de crescimento e as variáveis que não apresentarem interação entre cultivar e inoculação, temos que a *Pseudomonas fluorescens* apresentou melhores resultados para grãos em 10 vagens e grãos por planta. Pawar *et al*. (2018) também observaram melhor desempenho de números de vagens e grãos por vagens na cultura da soja com inoculação desta bactéria promotora de crescimento. Contudo os melhores valores médios de produção de grãos por planta foram obtidos com a inoculação de *Azospirillum brasilense*, sendo 14,01% maior do que a o tratamento controle sem inoculação, resultados semelhantes foram encontrados por Galindo *et al*. (2019) na cultura do milho.

Tabela 36 – Desdobramento da interação cultivar e inoculação, da massa de 100 grãos (g) de gergelim. Ilha Solteira - SP, 2021

Inoculação	**Cultivares**		DMS
	Trebol	Anahí	
Controle	0,446Aa	0,466Aa	
Azospirillum brasilense	0,488Aa	0,434Aa	
Bacillus subtilis	0,420Aab	0,500Aa	0,081
Pseudomonas fluorescens	0,418Aab	0,424Aa	
Trichoderma harzianum	0,322Bb	0,472Aa	
DMS	0,111		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivares não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para inoculação não diferem

Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando-se a rede de correlações de Pearson das cultivares de gergelim (Figuras 2 e 3), para o cultivar Anahí o comportamento das variáveis analisadas no experimento não apresentaram muitas correlações, com isso demonstrando que o comportamento entre as variáveis é independente em sua maioria, separando-se em três blocos de correlação positiva. Sendo que no primeiro obteve a interação positiva entre produção de grãos por planta, altura de planta e grãos por planta, segundo bloco de interações positivas para área foliar, inserção da

primeira vagem e grãos em 10 vagens, por fim o terceiro bloco verifica-se volume de raiz, massa seca de raiz e massa seca da parte aérea (Figura 2).

Observa-se que houve uma maior correlação de Person entre as variáveis do cultivar Trebol, sendo que seu comportamento é mais dependente um dos outros (Figura 3). As avalições que demonstraram maior dependência foram altura de planta, produção de grãos por planta, grãos por plantas, volume de raiz e massa seca de raiz, essa dependência acontece de forma positiva, demonstrando que se uma variável aumentar as outras também irão aumentar. Entretanto, o cultivar Trebol também apresentou diversas correlações negativas como volume de raiz, massa de 100 grãos, altura de inserção da primeira vagem e número de vagens por planta (Figura 3), demonstrando que existe um antagonismo entre estas, sendo que quando a média de uma aumenta a da outra variável irá abaixar.

Figura 2 – Rede de correlação dos coeficientes de Pearson obtidos das variáveis analisadas do gergelim, para o cultivar Anahí em resposta a inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas: Linhas verdes (p<0,07), quanto mais grossas, maior a correlação positiva; linhas vermelhas (p>0,07), quanto mais grossas, maior a correlação negativa; MASR, massa seca de raiz; VOL, volume de raiz; DCA, diâmetro do caule; AFO, área foliar; MASP, massa seca da parte área; ALT, altura de planta; I1V, altura de inserção da primeira vagem; COM, comprimento de vagem; VPL, número de vagens por planta; GRV, grãos em 10 vagens; GPL, grãos por planta; M10, massa de 100 grãos; PRO, produção de grãos por planta

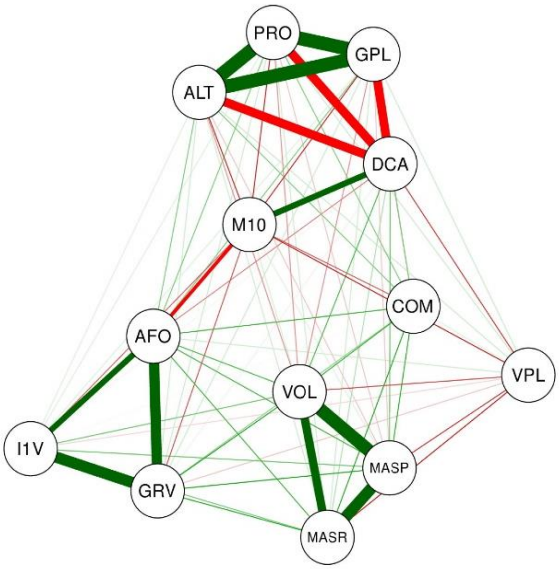
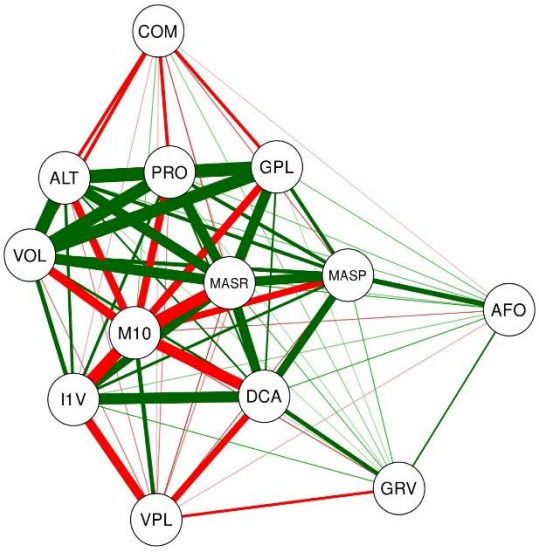


Figura 3 – Rede de correlação dos coeficientes de Pearson obtidos das variáveis analisadas do gergelim, para o cultivar Trebol em resposta a inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas: Linhas verdes (p<0,07), quanto mais grossas, maior a correlação positiva; linhas vermelhas (p>0,07), quanto mais grossas, maior a correlação negativa; MASR, massa seca de raiz; VOL, volume de raiz; DCA, diâmetro do caule; AFO, área foliar; MASP, massa seca da parte área; ALT, altura de planta; I1V, altura de inserção da primeira vagem; COM, comprimento de vagem; VPL, número de vagens por planta; GRV, grãos em 10 vagens; GPL, grãos por planta; M10, massa de 100 grãos; PRO, produção de grãos por planta



Fonte: Produção do próprio autor.

6 CONCLUSÕES

O cultivar de gergelim Anahí se destacou em relação as análises fisiológicas, com isso refletindo em incremento na sua nutrição, com maiores acúmulos de macronutrientes nos grãos e maior produção de grãos por planta.

As inoculações com microrganismos propiciaram as maiores concentrações e acúmulos de N na parte aérea das plantas em relação ao controle; e incrementos de forma variada na concentração e acúmulo de micronutrientes na parte aérea, fotossíntese líquida, condutância estomática, comprimento de vagens e massa de 100 grãos dos cultivares de gergelim, ao quais foram afetados por estresse causado pelo frio.

Plantas inoculadas com *Azospirillum brasilense* e *Trichoderma harzianum* foram mais eficientes nas análises fisiológicas, porém variando conforme os cultivares de gergelim e época de avaliação.

Embora não tenham sido detectadas diferenças significativas entre as inoculações com microrganismos, destacou-se a inoculação com *Azospirillum brasilense*, que resultou em um aumento de 14% na produção de grãos por planta comparado ao controle. Além disso, essa bactéria promoveu incrementos nos acúmulos de fósforo (P), boro (B), ferro (Fe) e zinco (Zn) nos grãos de gergelim.

Como pesquisas com gergelim ainda são escassas e a produtividade desta oleaginosa no Brasil precisa aumentar, recomenda-se mais estudos sobre a temática, inclusive com experimentos de campo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. T. E., GONÇALVES, C., PATERNIANI, M. E. A. G. Z., TUCCI, M. L. S. & CASTRO, C. E. F**. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. Campinas: Instituto Agronômico, p. 159-161, 2014. (Boletim IAC, 200).

ARRIEL, N. H. C., FIRMINO, P. D. T., BELTRÃO, N. D. M., SOARES, J. J., DE ARAUJO, A. E., SILVA, A. C., & FERREIRA, G. B. **A cultura do gergelim**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, p. 9 -11, 2007.

ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, NE de M.; FIRMINO, P. de T. **Gergelim:** o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009.

BADER, A. N., SALERNO, G. L., COVACEVICH, F., & CONSOLO, V. F. Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal of King Saud University-Science**, Amsterdam, v.32, n.1, p.867-873, 2020.

BARBOSA, A. M. **Eficiência dos metabólitos de *Pseudomonas fluorescens* na redução da colônia dos patógenos do arroz**. 2018. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Centro Universitário de Anápolis, UniEvangélica, Anápolis, 2018.

BARROS, M.A.L.; SANTOS, R.F.; BENATI, T.; FIRMINIO, P.T. Importância Econômica e Social. *In*: BELTRÃO, N.E.M.; VIEIRA, D.J. **O Agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2001. p.21-35. (Comunicação para Transferência de Tecnologia).

BASHAN Y.; DE-BASHAN L.E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth - a critical assessment. **Advance in Agronomy**, Maryland Heights, v.108, p. 77-136, 2010.

BASHAN, Y., DE-BASHAN, L. E., PRABHU, S. R., HERNANDEZ, J. P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). **Plant and Soil**, Dordrecht, v.378, p.1-33, 2014.

BASHAN, Y.; BUSTILLOS, J. J.; LEYVA, L. A.; HERNANDEZ, J. P.; BACILIO, M. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 42, n. 4, p. 279-285, 2006.

BEAUREGARD, P.B.; CHAI, Y.R.; VLAMAKIS, H.; LOSICK, R.; KOLTER, R. *Bacillus subtilis* biofilm induction by plant polysaccharides. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,** Oxford, v. 110, ed.17, p1621–1630, 2013.

BENDER, S. F. B.; FRANZ, C.; MARCEL, G.A.; VAN DER H. Mycorrhizal effects on nutrient cycling, nutrient leaching and N_2O production in experimental grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.80, p.283-292, 2015. ISSN 0038-0717. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.016.

BENDER, S. F.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. **Journal of Applied Ecology**, Chichester, v. 52, p. 228- 239, 2014. doi: 10.1111/1365-2664.12351.

BENITEZ T.; RINCON A.M.; LIMON M.C.; CODON A.C. Biocontrol mecanismos of *Trichoderma* strains. **International Microbiol**, [*S. l.*], v. 7, p.249–260, 2014.

BERBARA, Ricardo LL; SOUZA, Francisco A.; FONSECA, H. M. A. C. III-Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. **Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, p. 74-85, 2006.

BINDRABAN, P. S.; DIMKPA, C.; NAGARAJAN, L.; ROY, A.; RABBINGE, R. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. **Biology and Fertility of Soils**. Heidelberg, v.51, Issue 8, p. 897–911, 2015. https://doi.org/10.1007/s00374-015-1039-7.

BRADÁČOVÁ, K., WEBER, N. F., MORAD-TALAB, N., ASIM, M., IMRAN, M., WEINMANN, M., & NEUMANN, G. Micronutrients (Zn/Mn), seaweed extracts, and plant growth-promoting bacteria as cold-stress protectants in maize. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Heidelberg, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2016.

BREYDO, D. L. Boron, biologically active compounds. *In:* ENCYCLOPEDIA of Metalloproteins. New York: Springer, 2013. p. 295-299,

BROTMAN, Y.; LANDAU, U.; CUADROS-INOSTROZA, A.; TAKAYUKI, T.; FERNIE, A.R.; CHET I.; VITERBO A.; WILLMITZER, L. Trichoderma-plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. **PLoS Pathogens,** Chichester, v. 9, n. 3, p. e1003221, 2013.

BROTMAN, Y.; LANDAU, U.; PNINI, S.; LISEC, J.; BALAZADEH, S.; MUELLER-ROEBER, B.; ZILBERSTEIN, A.; WILLMITZER, L.; CHET, I.; VITERBO, A. The LysM receptor-like kinase LysM RLK1 is required to activate defense and abiotic-stress responses induced by overexpression of fungal chitinases in Arabidopsis plants. **Molecular Plant,** Cambridge, v. 5, n. 5, p. 1113-1124, 2012.

CALVO, P.; WATTS, D.B.; KLOEPPER, J.W.; TORBERT H.A. Effect of microbial based inoculants on nutrient concentrations and early root morphology of corn (*Zea mays*). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science,** Weinheim, v.180, p.56–70, 2017.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. VAN; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997, 285p. (Boletim técnico, 100).

CASSÁN, F.; PERRIG D.; SGROY, V.; MASCIARELLI, O.; PENNA C.; LUNA V. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). **European Journal of Soil Biology**, [*S. l.*], v. 45, p.28–35, 2019.

CHACON M.R; RODRIGUEZ-GALAN O., BERITEZ T., SOUSA S., REY M., LLOBELL A., DELGADO-JARANA J. Análises microscópicas e de transcriptoma da colonização precoce de raízes de tomate por Trichoderma harzianum. **International Microbiology,** Basel, v. 10 p.19-27, 2007.

CHUGH, V., KAUR, D., PURWAR, S., KAUSHIK, P., SHARMA, V., KUMAR, H & DUBEY, R. B. Applications of Molecular Markers for Developing Abiotic-Stress-Resilient Oilseed Crops. **Life**, [*S. l.*], v. 13, n. 1, p. 88, 2022.

COHEN A.; BOTTINI R.; PICCOLI P. *Azospirillum brasilense* Sp 245 produces ABA in chemically-defined culture medium and increases ABA content in Arabidopsis plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.54, p.97-103, 2008. https://doi.org/10.1007/s10725-007-9232-9

COMPANT, S., DUFFY, B., NOWAK, J., CLEMENT, C., BARKA, E. A. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. **Journal Applied Environmental Microbiology**, Newark, v.71, p.4951-4959, 2005. DOI: 10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005

CONTRERAS-CORNEJO H.A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ L.; CORTÉS-PENAGOS C.; LÓPEZ-BUCIO J. *Trichoderma virens*, um fungo benéfico às plantas, aumenta a produção de biomassa e promove o crescimento lateral da raiz através de um mecanismo dependente de auxina em *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, Rockville, v.149, p.1579–1592, 2009.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; DEL-VAL, E.; LARSEN, J. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. **FEMS Microbiology Ecology**, Oxford, v.92, e.4, p.1-17, 2016. https://doi.org/10.1093/femsec/fiw036

COSTA, S.M.L.; MELLONI, R. Relação de fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias no crescimento de mudas de oliveira (*Olea europaea*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 169-180, 2019.

DEVI, A. R.; KOTOKY, R.; PANDEY, P.; SHARMA, G. D. Application of *Bacillus spp.* for Sustainable Cultivation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) and the Benefits, *In*: ISLAM, M. T.; PANDEY, M. R. P.; AERON, C. K. J. A. **Bacilli and Agrobiotecnology.** Cham: Springer Cham, 2016. p. 185-213.

DIAZ, R. J.; ROSENBERG, R. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. **Science**, [*S. l.*], v. 321, n. 5891, p. 926-929, 2008.

DING, Y., SHI, Y., & YANG, S. Molecular regulation of plant responses to environmental temperatures. **Molecular Plant**, [*S. l.*], v.13, n.4, p.544-564, 2020.

DOLEY, K.; TERKAR, A.; BORDE, M. Applications of Microorganisms in Agriculture. In: **Microbial Technology for Health and Environment**. Springer, Singapore, 2020. p. 229-248.

DORJEY S.; DOLKAR, D.; SHARMA, R. Plant Growth Promoting Rhizobacteria *Pseudomonas*: A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,** Kancheepuram, v.6, ed.7, p.1335-1344, 2017. doi: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.160 2017

ELAYARAJA, D. Response of sesame (*Sesamum indicum* L.) to micronutrients and NPK levels on the growth, yield and nutrients uptake in coastal sandy soil. **Journal of Oilseeds Research**, New Delhi, p. 179, 2015.

EMBRAPA. Cultivo do gergelim no Brasil cresce 230% em um ano. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64027841/cultivo-do-gergelim-no-brasil-cresce-230-em-um-ano#:~:text=para%20a%20colheitaCultivo%20de%20gergelim%20est%C3%A1%20crescendo%20como%20alternativa%20ap%C3%B3s%20t%C3%A9rmino%20da,ao%20desenvolvimento%20de%20novas%20cultivares. Acesso em: 01 abr. 2024.

FASCIGLIONE, G., CASANOVAS, E. M., QUILLEHAUQUY, V., YOMMI, A. K., GONI, M. G., ROURA, S. I., BARASSI, C. A. *Azospirillum* inoculation effects on growth, product quality and storage life of lettuce plants grown under salt stress. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.195, p.154–162, 2015. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.015

FASIM, F., AHMED, N., PARSONS, R., GADD, G. M. Solubilization of zinc salts by a bacterium isolated from the air environment of a tannery. **FEMS Microbiology Letters,** Oxford, v.213, p.1-6, 2002. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2002.tb11277.

FELICI, C., VETTORI, L., GIRALDI, E., FORINO, L. M. C., TOFFANIN, A., Tagliasacchi, A. M., & Nuti, M. Single and co-inoculation of *Bacillus subtilis* and *Azospirillum brasilense* on Lycopersicon esculentum: effects on plant growth and rhizosphere microbial community. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 260-270, 2008.

FERREIRA, M.H.C.; SOARES, M.V.M.H.; SOARES, E.V. Promising bacterial genera for agricultural practices: An insight on plant growth-promoting properties and microbial safety aspects, **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 682, p.779-799, 2019.

FITZSIMONS, Michael S.; MILLER, R. Michael. The importance of soil microorganisms for maintaining diverse plant communities in tallgrass prairie**. American Journal of Botany**, Oxford, v. 97, n. 12, p. 1937-1943, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **FAO participa de fórum na semana da alimentação.** Brasília: FAO, 2020. Disponível em: http://www.fao.org/search/pt/?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&q=population+growth&cof=FORID%3A9&siteurl=www.fao.org%2Fbrasil%2Fpt%2F&ref=www.google.com%2F&ss asp. Acesso em: 08 jan. de 2020.

FREIRE, Juliana Müller *et al*. Symbiotic efficiency of inoculation with nitrogen-fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in *Tachigali vulgaris* seedlings. **Revista Árvore**, v. 44, 2020.

FUKAMI J.; OLLERO F.J.; MEGÍAS M.; HUNGRIA M. Phytohormones and induction of plant stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. **AMB Express**, Heidelberg, v.7, p.1-13; 2017. DOI: 10.1186/s13568-017-0453-7

FUKAMI, J., NOGUEIRA, M. A., ARAUJO, R. S., HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. **AMB Express**, Heidelberg, v.6, p.3-16, 2016. https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y

GALINDO, F. S., TEIXEIRA FILHO, M. C. M., BUZETTI, S., SANTINI, J. M. K., ALVES, C. J., NOGUEIRA, L. M., BELLOTTE, J. L. M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen

fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40, 2016.

GALINDO, F.S.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W.L.; BOLETA, E.H.M.; SILVA, V.M.; TAVANTI, R.F.R.; FERNANDES, G.C.; BIAGINI, A.L.C.; ROSA, P.A.L.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Inoculation of *Azospirillum brasilense* associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops. **Scientific Reports**, London, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2020.

GALINDO, F.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; LUDKIEWICZ, M.G.Z; ROSA, P.A.L.; TRITAPEPE, C. A. 2018a Technical and economic viability of co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars in the Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.51-56, 2018.

GALINDO, F.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J.M.K.; ALVES, C.J.; NOGUEIRA, L.M.; LUDKIEWICZ, M.G.Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTTE, J.L.M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Brazilian Journal of Soil Science**, v. 40, p.1-18, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20150364

GARCÍA, J. A. L.; PROBANZA, A.; RAMOS, B.; PALOMINO, M. R.; MAÑERO, F. J. G. Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. **Agronomie**, [*S. l.*], v.24, n.4, p.169-176, 2004. DOI: 10.1051/agro:2004020f

GÜL, A.; KIDOĞLU, F.; TÜZEL, Y.; TÜZEL, H. Effects of nutrition and *Bacillus amyloliquefaciens* on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.6, n.3, p.422-429, 2008. DOI: 10.5424/sjar/2008063-335

HALLMANN, J.; QUADT-HALLMANN, A.; MAHAFFEE, W. F.; KLOEPPER, J. W. Bacterial endophytes in agricultural crops. **Canadian Journal Microbiology**. v.43, p.895-914, 1997. https://doi.org/10.1139/m97-131

HAMEDANI, N. G., GHOLAMHOSEINI, M., BAZRAFSHAN, F., AMIRI, B., & HABIBZADEH, F. Variability of root traits in sesame genotypes under different irrigation regimes. **Rhizosphere**, 13, 100190, 2020.

HARMAN, G.E.; HOWELL, C.R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M.; *Trichoderma* species — opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nat Rev Microbiol,** [*S. l.*], vv.2, p.43-56, 2004.

HARTHMANN, O. E. L.; MÓGOI, A. F.; WORDELL FILHO, J. A.; LUZ, W. C. Rizobactérias no crescimento e na produtividade da cebola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.2, p.462-465, 2010. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000256

HELALY, A. A., MADY, E., SALEM, E. A., & RANDHIR, T. O. Stimulatory effects of growth-promoting bacteria on growth, nutritional composition, and yield of kale plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 45, n. 16, p. 2465-2477, 2022.

HERMOSA, Rosa *et al*. Plant-beneficial effects of Trichoderma and of its genes. **Microbiology**, [*S. l.*], v. 158, n. 1, p. 17-25, 2012.

HOUSH, A. B., BENOIT, M., WILDER, S. L., SCOTT, S., POWELL, G., SCHUELLER, M. J., & FERRIERI, R. A. Plant-growth-promoting bacteria can impact zinc uptake in Zea mays: An

examination of the mechanisms of action using functional mutants of *Azospirillum brasilense*. **Microorganisms**, v. 9, n. 5, p. 1002, 2021.

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

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

HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M. A., ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria spp*. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment,** Heidelberg, v.221, p.125-131, 2016. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024.

HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M. A., ARAUJO, R. S. Soybean seed coinoculation with *Bradyrhizobium spp*. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**. Irvine, v.6, p.811-817, 2015. http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.66087

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/Busca? q=GERGELIM. Acesso em: 03 mar. 2020.

JAIN, D., KOUR, R., BHOJIYA, A. A., MEENA, R. H., SINGH, A., MOHANTY, S. R. & AMETA, K. D. Zinc tolerant plant growth promoting bacteria alleviates phytotoxic effects of zinc on maize through zinc immobilization. **Scientific Reports**, London, v. 10, n. 1, p. 13865, 2020.

JERUSHA, K., SINGH, V., & TIWARI, D. Effect of plant growth hormones and biofertilizers on growth and yield of summer sesame (*Sesamum indicum* L.), 2021.

KALA, J., DE KAUWE, M. G., PITMAN, A. J., MEDLYN, B. E., WANG, Y. P., LORENZ, R., & PERKINS-KIRKPATRICK, S. E. Impact of the representation of stomatal conductance on model projections of heatwave intensity. **Scientific Reports**, London, v. 6, n. 1, p. 23418, 2016.

KANEKO T.; MINAMISAWA K.; ISAWA T.; NAKATSUKASA H.; MITSUI H.; KAWAHARADA Y.; NAKAMURA Y.; WATANABE A.; KAWASHIMA K.; ONO A.; SHIMIZU Y.; TAKAHASHI C.; MINAMI C.; FUJISHIRO T.; KOHARA M.; KATOH M.; NAKAZAKI N.; NAKAYAMA S.; YAMADA M.; TABATA S.; SATO S. Complete genomic structure of the cultivated rice endophyte *Azospirillum* sp. B510. **DNA Research,** [*S. l.*], v.17, p.37-50, 2010.

KATSENIOS, N., ANDREOU, V., SPARANGIS, P., DJORDJEVIC, N., GIANNOGLOU, M., CHANIOTI, S., EFTHIMIADOU, A. Assessment of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of sweet corn. **Scientific Reports**, London, v. 12, n. 1, p. 11598, 2022.

KENNEDY, I.R.; TCHAN, Y.T. Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: Recent advances. **Plant Soil**, Dordrecht, v.141, p.93–118, 1992. https://doi.org/10.1007/BF00011312

KHUONG, N. Q., THUC, L. V., TRAN, N. T. B., HUU, T. N., & SAKAGAMI, J. I. Foliar application of boron positively affects the growth, yield, and oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Open Agriculture**, Berlin, v. 7, n. 1, p. 30-38, 2022.

KIM, J.S.; LEE, J.E.; NIE, H.; LEE, Y.J.; KIM, S.T.; KIM, S.H. Physiological and proteomic analysis of plant growth enhancement by the rhizobacteria *Bacillus* sp. JS. **Genes Genomics**, Kangnam-gu, v.40, ed.2, p. 129–136, 2018.

KLOEPPER J.W., SCHROTH M.N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: Proceedings of the IVth International Conference on Plant Pathogenic Bacteria. **Station de Pathologie Vegetale et Phyto-Bacteriologie**, [*S. l.*], v. 2, p. 879–82, 1978.

KOTASTHANE, A.; AGRAWAL, T.; KUSHWAH, R.; RAHATKAR, O.V. *In-vitro* antagonism of *Trichoderma* spp. contra *Sclerotium rolfsii* e *Rhizoctonia sola* ni e sua resposta ao crescimento de pepino, cabaça e cabaça amarga. **European Journal of Plant Pathology,** Dordrecht, v. 141, p. 523-543, 2015.

KUBICEK, Christian P.; DRUZHININA, Irina S. (Ed.). **Environmental and microbial relationships.** Cham: Springer Science & Business Media, 2007. v. 4. p. 165-184.

LAPAZ, A. D. M., YOSHIDA, C. H. P., GORNI, P. H., Freitas-Silva, L. D., Araújo, T. D. O., & Ribeiro, C. Iron toxicity: effects on the plants and detoxification strategies. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 36, p. e2021abb0131, 2022.

LIMA, N. S. A., VOGEL, G. F., FEY. R. Rates of application of *Azospirillum brasilense* in tomato crop. **Revista de Agricultura Neotropical,** Dourados, MG, v. 5, n. 4, p. 81-87, 2018. https://doi.org/10.32404/rean.v5i4.3142

LÓPEZ-BUCIO, J.; PELAGIO-FLORES, R.; HERRERA-ESTRELLA, A. Trichoderma como bioestimulante: explorando as propriedades multiníveis de um fungo benéfico para plantas. **Scientia Horticulturae,** Amsterdam, v. 196, p 109–123, 2015.

MACHADO; D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, A. C. F.; ANTONIOLLI, Z. I. *Trichoderma* no Brasil: O fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias,** Lisboa, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MARIANO, R. L. R., SILVEIRA, E. B., ASSIS, S. M. P., GOMES, A. M. A., NASCIMENTO, A. R. P., DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v.1, p.89-111, 2004.

MARKS, B. B., MEGÍAS, M., OLLERO, F. J., NOGUEIRA, M. A., ARAUJO, R. S., HUNGRIA, M. Maize growth promotion by inoculation with *Azospirillum brasilense* and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipo-chitooligosaccharides (LCOs). **AMB Express**, Heidelberg, v.5, p.71-82, 2015. DOI:10.1186/s13568-015-0154-z

MARTÍNEZ, B.; INFANTE, D.; REYES, Y. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. **Revista de Protección Vegetal,** Havana, p.28, v.1-11, 2013.

MEDEIROS, H. A.; ARAUJO FILHO, J. V.; FREITAS, L. G.; CASTILLO, P.; RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; MONTE, E. Tomato progeny inherit resistance to the nematode *Meloidogyne javanica*

linked to plant growth induced by the biocontrol fungus *Trichoderma atroviride*. **Scientific Reports,** London, v. 7, 2017.

MEGHA, S., BASU, U., & KAV, N. N. Regulation of low temperature stress in plants by microRNAs. **Plant, Cell & Environment**, Chichester, v. 41, n. 1, 1-15, 2018.

MIR, A. R., PICHTEL, J., & HAYAT, S. Copper: uptake, toxicity and tolerance in plants and management of Cu-contaminated soil. **Biometals**, [*S. l.*], v. 34, n. 4, p. 737-759, 2021.

MOREIRA, H. *et al*. Mine land valorization through energy maize production enhanced by the application of plant growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 23, n. 7, p. 6940-6950, 2016.

MUMTAZ, M. Z.; AHMAD, M.; JAMIL, M.; HUSSAIN, T. Zinc solubilizing *Bacillus* spp. potential candidates for biofortification in maize. **Microbiological Research,** [*S. l.*], v. 202, n. 1, p. 51-60, 2017.

NADEEM, S. M. *et al*. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology Advances**, New York, v. 32, n. 2, p. 429-448, 2014.

NASCIMENTO, V. C. do. **Avaliação da qualidade de sementes de duas cultivares de gergelim em diferentes espaçamentos.** 2019. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2019, p. 231.

NEILANDS, J. B. Siderophores - structure and function of microbial iron transport compounds. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v.270, p. 26723-26726, 1995. DOI: 10.1074/jbc.270.45.26723

NEZHDANOVA, A. V., EFREMOV, G. I., SLUGINA, M. A., KAMIONSKAYA, A. M., KOCHIEVA, E. Z., & SHCHENNIKOVA, A. V. Effect of a radical mutation in plastidic starch phosphorylase PHO1a on potato growth and cold stress response. **Horticulturae**, [*S. l.*], v. 8, n. 8, p. 730, 2022.

OLIVEIRA, C. E. D. S., JALAL, A., OLIVEIRA, J. R., TAMBURI, K. V., & TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Leaf inoculation of *Azospirillum brasilense* and *Trichoderma harzianum* in hydroponic arugula improve productive components and plant nutrition and reduce leaf nitrate. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 52, 2022.

OLIVEIRA, Laura *et al*. Formas e tipos de coinoculação na cultura da soja no Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, [*S. l.*], v. 42, n. 4, p. 924-932, 2019.

OLIVEIRA, Rui S. *et al*. Increased protein content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria under water deficit conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 97, n. 13, p. 4379-4385, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division **World Population Prospects 2019:** Highlights (ST/ESA/SER.A/423). (2019). ISBN: 978-92-1-148316-1.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **População mundial deve aumentar para 9,7 bilhões em 2050.** Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2019/04/1666621. Acesso em: 30 fev. de 2020.

PANKIEVICZ, V. C. S., AMARAL, F. P., SANTOS, K. F. D. N., AGTUCA, B., XU, Y., SCHUELLER, M. J., ARISI, A. C. M., STEFFENS, M. B. R., SOUZA, E. M., PEDROSA, F. O., STACEY, G., FERRIERI, R. A. Robust biological nitrogen fixation in a model grass-bacterial association. **Plant Journal,** [*S. l.*], v.81, p.907-919, 2015. DOI: 10.1111/tpj.12777

PARK, Y.G.; MUN, B.G.; KANG, S.M., HUSSAIN, A.; SHAHZAD, R.; SEO, C.W.; KIM, A.Y.; LEE, S.U.; OH, K.Y.; LEE, D.Y.; LEE, I.J. *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLoS One**, Chichester, v12, e. 3, p. 1-28, 2017.

PEREIRA, Sofia IA *et al*. Promotion of sunflower growth under saline water irrigation by the inoculation of beneficial microorganisms. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 105, p. 36-47, 2016.

PERERA-CASTRO, A. V., & FLEXAS, J. Recent advances in understanding and improving photosynthesis. **Faculty Reviews**, [*S. l.*], v. 9, 2020.

PERES, A. R., RODRIGUES, R. A. F., ARF, O., PORTUGUAL, J. R., CORSINI, D. C. Co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Ceres**, [*S. l.*], v. 63, n.2, p. 198-207, 2016. https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020011

PÉREZ-MONTAÑO, F.; ALÍAS-VILLEGAS, C.; BELLOGÍN, R.A.; CERRO, P. del.; ESPUNY, M.R.; JIMÉNEZ-GUERRERO, I.; LÓPEZ-BAENA, F.J.; OLLERO, F.J.; CUBO, T. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: From microorganism capacities to crop production. **Microbiological Research**, [*S. l.*], v. 169, p. 325-336, 2014.

QUEIROGA, V. de P.; SILVA, O.R.R.F da. **Tecnologias utilizadas no cultivo do gergelim mecanizado.** Campina Grande: Embrapa Algodão, p.142, 2018. (Documentos, 203).

QUEIROGA, V.P., FREIRE, R.M.M., FIRMINO, P.T., MARINHO, D.R.F., SILVA, A.C., BARBOSA, W.T., QUEIROGA, D.A.N**. Avaliação da qualidade das sementes de gergelim submetidas aos processos de despeliculação manual, físico e mecânico**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.14, e.4, p. 307-315, 2012.

RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ALLAH, E.F. Bacillus: a biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. **Front in Physiolgy**., [*S. l.*],v. 8, p.667, 2017.

RAI, S.; KASHYAP, P.L.; KUMAR, S. Identificação, caracterização e análise filogenética do antifúngico *Trichoderma* da rizosfera do tomate. **SpringerPlus,** Heidelberg, v.5, p. 19-39, 2016.

Rana, A., Kabi, S. R., Verma, S., Adak, A., Pal, M., Shivay, Y. S. & Nain, L. Prospecting plant growth promoting bacteria and cyanobacteria as options for enrichment of macro-and micronutrients in grains in rice–wheat cropping sequence. **Cogent Food & Agriculture**, Abingdon, v. 1, n. 1, p. 1037379, 2015.

RASHID, S., CHARLES, T.C., GLICK, B.R. Isolation and characterization of new plant growth-promoting bacterial endophytes. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 61, p. 217 –224,2012.

REED, S.C.; CLEVELAND, C.C.; TOWNSEND, A.R. Functional ecology of free-living nitrogen fixation: A contemporary perspective. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, Palo Alto, v.42, p.489–512, 2011. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145034

REIS, V. M.; JESUS, E. C.; SCHWAB, S.; OLIVEIRA, A. L. M.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: Fernandes, M. S., Souza, S. R., Santos, L. A. **Nutrição Mineral de plantas** 2 ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.280-307, 2018.

REPKE, R. A., CRUZ, S. J. S., SILVA, C. J. D., FIGUEIREDO, P. G., & BICUDO, S. J. Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, p. 214-226, 2013.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization on by the plant growth promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 91, p. 552 –555, 2004.

RODRÍGUEZ-CABALLERO, G. *et al*. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation mediated changes in rhizosphere bacterial community structure while promoting revegetation in a semiarid ecosystem. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 584, p. 838-848, 2017.

RUEDA, D., VALENCIA, G., SORIA, N., RUEDA, B. B., MANJUNATHA, B., KUNDAPUR, R. R., SELVANAYAGAM, M. Effect of *Azospirillum spp*. and *Azotobacter spp.* on the growth and yield of strawberry (*Fragaria vesca*) in hydroponic system under different nitrogen levels. **Journal Applied Pharmaceutical Science**, Prakasam, v.6, p.48–54, 2016. DOI: 10.7324/JAPS.2016.600108

RYAN, R. P., GERMAINE, K., FRANKS, A., RYAN, D. J., DOWLING, D. N. Bacterial endophytes: recent developments and applications**. FEMS Microbiology Letters,** Oxford, v.278, p.1-9, 2008. DOI:10.1111/j.1574-6968.2007.00918.x.

SADOK, W., LOPEZ, J. R., & SMITH, K. P. Transpiration increases under high-temperature stress: Potential mechanisms, trade-offs and prospects for crop resilience in a warming world. **Plant, Cell & Environment**, Chichester, v. 44, n. 7, p. 2102-2116, 2021.

SAEID, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANEK, J. Phosphorus Solubilization by *Bacillus* Species. **Molecules**, [*S. l.*], v.23, p.1-18, 2018.; doi:10.3390/molecules23112897

SAHOO, R. K., ANSARI, M. W., PRADHAN, M., DANGAR, T. K., MOHANTY, S., TUTEJA, N. Phenotypic and molecular characterization of native *Azospirillum* strains from rice fields to improve crop productivity. **Protoplasma**, Wien, v. 251, p.943–953, 2014.

SALAMONE, G. I. E. Microrganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. **Revista Argentina Microbiologia**, Buenos Aires, v.43, p.1-3, 2011.

SALVO, L.P.D.; FERRANDO L.; FERNANDÉZ-SCAVINO, A.; SALAMONE, I.E.G. Microorganisms reveal what plants do not: wheat growth and rhizosphere microbial communities after

Azospirillum brasilense inoculation and nitrogen fertilization under field conditions. **Plant Soil**, Dordrecht, v.424:405-417, 2018. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3548-7

SANTOS, C. L. R., ALVES, G. C., MACEDO, A. V. M., GIORI, F. G., PEREIRA, W., URQUIAGA, S., REIS, V. M. Contribution of a mixed inoculant containing strains of *Burkholderia spp*. and *Herbaspirillum ssp*. to the growth of three sorghum genotypes under increased nitrogen fertilization levels. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.113, p.96-106, 2017.

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., OLIVEIRA, J. B., COELHO, M. R., LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (2013) **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro-RJ: EMBRAPA, Ed.3, 353p.

SANTOS, R. M., DIAZ, P. A. E., LOBO, L. L. B., & RIGOBELO, E. C. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: characteristics and applications. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 136, 2020.

SANTOYO, G. *et al*. Plant growth-promoting bacterial endophytes. **Microbiological Research**, [*S. l.*], v. 183, p. 92-99, 2016.

SARAVANAN, V. S.; SUBRAMONIAM, S. R.; RAJ, S. A. Assessing in vitro solubilization of different zinc solubilizing bacterial (ZBS) strains. **Brazilian Journal Microbiology**. v.34, p.121-125, 2004. http://dx.doi.org/10.1590/S1517-83822004000100020

SATYAPRAKASH, M.; NIKITHA, T.; REDDI, E.U.B.; SADHANA, B.; VANI, S.S. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,** Kancheepuram, v. 6, ed.4, p.2133–2144, 2017.

SAUDY, H. S., EL–SAMAD, G. A. A., EL–TEMSAH, M. E., & EL–GABRY, Y. A. E. G. Effect of iron, zinc, and manganese nano-form mixture on the micronutrient recovery efficiency and seed yield response index of sesame genotypes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Heidelberg, p. 1-11, 2022.

SAVARINO, G., CORSELLO, A., & CORSELLO, G. Macronutrient balance and micronutrient amounts through growth and development. **Italian Journal of Pediatrics**, Roma, v. 47, n. 1, p. 1-14, 2021.

SCHMIDT, W., THOMINE, S., & BUCKHOUT, T. J. Iron nutrition and interactions in plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, p. 1670, 2020.

SCHULTZ, N., MORAIS, R. F., SILVA, J. A., BAPTISTA, R. B., OLIVEIRA, R. P., LEITE, J. M., PEREIRA, W., CARNEIRO JUNIOR, J. B., ALVES, B. J. R., BALDANI, J. I., BODDEY, R. M., URQUIAGA, S., REIS, V. M. Avaliação agronômica de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília DF, v.42, p.261-268, 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200015

SEIDO, S. L., SOUSA, L. P., SILVA, M. J., DONZELI, V. P., QUEIROZ, S. O. P. Melon growth-promoting rhizobacteria under saline stress. **Revista Brasileira de Ciências Agrarias**, Recife, v.14, n.1, p.1-7, 2019. DOI:10.5039/agraria.v14i1a5623

SHI, Y., YANG, H., ZHANG, T., SUN, J. K. LouIllumina-based analysis of endophytic bacterial diversity and space-time dynamics in sugar beet on the north slope of Tianshan mountain. **Applied Microbiology and Biotechnology,** Heidelberg, v.98, p.6375-6385, 2014. DOI:10.1007/s00253-014-5720-9.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v.48, p.21-43, 2010.

SHRIVASTAVA, P., & KUMAR, R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi journal of biological sciences**, Amsterdam, v. 22, n. 2, p. 123-131, 2015.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análises de alimentos:** métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, p. 235, 2005.

SILVA, L. C.; SANTOS, J.W.; VIEIRA, D.J.; BELTRÃO, N.E.M.; ALVES, I.J.F. Um método simples para se estimar a área foliar de plantas de gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 6, n.1, p.491-496, 2002

SILVA, M.A.F, MOURA, K.E., MOURA, K.E., SALOMÃO, D., PATRICIO, F.R.A. Compatibility of *Trichoderma* isolates with pesticides used in lettuce crop. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.44, n.2, p.137-142, 2018. https://doi.org/10.1590/0100-5405/176873

SIVASAKTHI S.; USHARANI G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v.16, p.1265-1277, 2014. DOI:10.5897/AJAR20137914

SOLANKI, M.K.; SINGH, N., SINGH, R.K.; SINGH P.; SRIVASTAVA, A.K. Ativação de defesa de plantas e manejo da podridão da raiz do tomate por uma formulação de *Trichoderma* / *Hypocrea* fortificada com quitina. **Phytoparasitica**, Dordrecht, v.39, p.471–481, 2011.

SU, R., ZHOU, R., MMADI, M. A., LI, D., QIN, L., LIU, A., DOSSA, K. Root diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.): insights into the morphological, anatomical and gene expression profiles. **Planta**, [*S.l.*], v. 250, n. 5, 1461-1474, 2019.

SUBRAMANIAN, J., SATYAN, K. Isolation and selection of fluorescent pseudomonads based on multiple plant growth promotion traits and siderotyping. **Chilean Journal of Agricultural Research,** Chillan, v. 74, p. 319 –325, 2014.

SUNEESH, K**. Biodiversity of fluorescent pseudomonads in soils of moist deciduous forests of Western Ghats of Uttara Kannada district**. M. Sc. thesis, University of Agricultural Sciences, Dharwad, IN, 2004.

SWAIN, M.R., LAXMINARAYANA, K., RAY, R. C. Phosphorus solubilization by thermotolerant *Bacillus subtilis* Isolated from cow dung microflora. **Agricultural Research**, [*S. l.*], v.1, n.3, p.273–279, 2012. https://doi.org/10.1007/s40003-012-0022-x

TEIXEIRA FILHO, M. M., GALINDO, F. S. Inoculação de bactérias com foco na fixação biológica de nitrogênio e promoção de crescimento vegetal. Cap.11, Severiano, E. C., Moraes, M. F., Paula, A. M. **Tópicos em Ciência do Solo,** Viçosa, v.10, ed.1, p.728, 2019.

TIEN T.; GASKINS M.; HUBBELL D. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology,** Washington, DC, v. 37, p.1016-1024, 1979.

TILMAN, David *et al*. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, London, v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002.

TILMAN, David *et al*. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. **Science**, [*S. l.*], v. 294, n. 5543, p. 843-845, 2001.

VAN LOON, L. C.; BAKKER, P. A. H. M.; PIETERSE, C. M. J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. **Annual Review of Phytopathology,** Palo Alto, v.36, p. 453- 483,1998.

VARGAS, W. A.; MANDAWE, J. C.; KENERLEY, C. M . A sacarose de origem vegetal é um elemento chave na associação simbiótica entre *Trichoderma virens* e plantas de milho. **Plant Physiology**, Rockville, v.151, p. 792- 808, 2009.

VEJAN, P.; TUMIRAH I.; ROSAZLIN K.; ISMAIL, S. A.; DADRASNIA, A. Encapsulation of plant growth promoting Rhizobacteria—prospects and potential in agricultural sector. **Journal of Plant Nutrition,** New York, v. 42, p. 2600-2623, 2019.

VIANA, J. S., COSTA, D. S., LIMA, J. J. P., GONÇALVES, E. P., ARRIEL, N. H. C., & DE JOSÉ FÁBIO FERREIRA DE OLIVEIRA, J. F. F. Agronomic performance of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes under phytostimulant application. **Bioscience Journal**, [*S. l.*], v. 34, n. 4, p. 848-857, 2018.

WOITKE, M.; JUNGE, H.; SCHNITZLER, W. H. *Bacillus subtilis* as growth promoter in hydroponically grown tomatoes under saline conditions. **Acta Horticulturae,** Leuven, v. 659, p. 363–369, 2004.DOI:10.17660/ActaHortic.2004.659.48

YADAV, A., SAINI, I., KAUSHIK, P., ANSARI, M. A., KHAN, M. R., HAQ, N. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and P-solubilizing Pseudomonas fluorescence (ATCC-17400) on morphological traits and mineral content of sesame. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Amsterdam, v. 28, n. 5, p. 2649-2654, 2021.

YADEGARI, M.; RAHMANI, H. A.; NOORMOHAMMADI, G.; AYNEBAND, A. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.33, p.1733-1743, 2010. DOI:10.1080/01904167.2010.503776

YEDIDIA I, SHORESH M, KEREM Z, BENHAMOU N, KAPULNIK Y, CHET I. Indução concomitante de resistência sistêmica a *Pseudomonas syringae* pv. lacrimosos em pepino

por *Trichoderma asperellum* (T-203) e acúmulo de fitoalexinas. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, DC, v.69, p. 7343–7353, 2003.

YEDIDIA, I.; BENHAMOU, N.; KAPULNIK, Y.; CHET, I. Induction and accumulation of PR proteins activity during early stages of root colonization by the mycoparasite *Trichoderma harzianum* strain T-203. **Plant Physiology and Biochemistry**, Rockville, v.38, p.863-873, 2000.

YEDIDIA, I.; SHORESH, M.; KEREM, Z.; BENHAMOU, N.; KAPULNIK, Y.; CHET, I. Concomitant induction of systemic resistance to Pseudomonas syringae pv. lachrymans in cucumber by *Trichoderma asperellum* (T-203) and accumulation of phytoalexins. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, DC, v.69, p.7343-7353, 2003.

ZEILINGER, S.; GRUBER, S.; BANSALB, R.; MUKHERJEE, P.K. Metabolismo secundário em *Trichoderma* - Química encontra genômica. **Fungal Biology,** v.30, p.74-90, 2016.