

Article

As Interações da Soja com os Microrganismos do Solo: Uma Breve Revisão sobre os Aspectos Biológicos e Agronômicos

Saulo Fernandes Rodrigues¹ , Giulia da Costa Rodrigues dos Santos² , Luiz Fernando de Sousa Antunes³ 

¹ Graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa. ORCID: 0009-0002-9711-7901. E-mail: saulo.sfr@gmail.com

² Graduanda em Agronomia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. ORCID: 0009-0004-6748-4545. E-mail: giu.rodriguessantos@gmail.com

³ Doutor em Fitotecnia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. ORCID: 0000-0001-8315-4213. E-mail: fernando.ufrrj.agro@gmail.com

RESUMO

A soja é a leguminosa de extrema importância para a alimentação humana e animal. O aumento da sua produtividade nos últimos anos é decorrente do melhoramento da espécie e desenvolvimento de novas cultivares, bem como a adoção de tecnologias de manejo e utilização de organismos promotores do crescimento vegetal, representados por bactérias e fungos. Destarte, esse trabalho teve como objetivo a realização de uma revisão de literatura acerca das funcionalidades das comunidades microbianas do solo, buscando verificar o que há de mais novo sobre as interações entre os microrganismos do solo com a produção agrícola da soja e como são os mecanismos que contribuem para o desenvolvimento vegetativo da cultura. Nesse sentido, bactérias, como as dos gêneros *Rhizobium* e *Bacillus*, e de fungos, como o *Trichoderma*, tornaram-se bem conhecidos na cultura da soja, auxiliando as plantas a crescerem de forma mais saudável e resilientes aos estresses abióticos e bióticos. Outro ponto que contribui, e não pode ser esquecido na cultura da soja, é para o adequado manejo da cultura. O sistema de plantio direto, por exemplo, ao utilizar diferentes culturas como cobertura do solo, podem favorecer determinados grupos de microrganismos em detrimento de outros. Assim, a utilização dos inoculantes microbianos, sejam eles à base de bactérias ou fungos, ganha cada dia mais notoriedade e consciência de quem faz seu uso. Considerado como um método ambientalmente amigável, microrganismos podem ser a alternativa para promover melhorias no desempenho agrônomo de diversas culturas e até substituir, como no caso do nitrogênio, a aplicação de fertilizantes químicos, os quais causam efeitos negativos no meio ambiente.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill; bactérias promotoras do crescimento vegetal; fungos promotores do crescimento vegetal; sustentabilidade.

ABSTRACT

Soybean is a legume of extreme importance for human and animal nutrition. The increase in its productivity in recent years is due to the improvement of the species and the development of new cultivars, as well as the adoption of management technologies and the use of organisms that promote plant growth, represented by bacteria and fungi. Thus, this work aimed to carry out a literature review about the functionalities of soil microbial communities, seeking to verify what is newest about the interactions between soil microorganisms with soybeans and how are the mechanisms that contribute to the vegetative development of the crop. Bacterial genera such as *Rhizobium* and *Bacillus* and fungi such as *Trichoderma* have become well-known in soybean culture, helping plants to grow healthier and more resilient to abiotic and biotic stresses. Crop management is another essential point to contribute soybean production. The no-till system, for example when using different crops as soil cover, may favor certain groups of microorganisms to the detriment of others. Thus, the use of microbial inoculants, whether based on bacteria or fungi, is gaining more notoriety and awareness of those who use them. Considered as an environmentally friendly method, microorganisms can be an alternative to promote improvements in the agronomic performance of several crops and even replace, as in the case of nitrogen, the application of chemical fertilizers, which cause negative effects on the environment.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill; plant growth-promoting bacteria; plant growth-promoting fungi; sustainability.



Submissão: 18/08/2023



Aceite: 05/10/2023



Publicação: 27/10/2023



Introdução

A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é a principal oleaginosa produzida e consumida no mundo, e representa o principal produto do agronegócio brasileiro. Suas sementes são ricas em proteína e lipídeos, o que justifica sua ampla utilização na produção de óleo e farelo. Devido à sua alta produção e importância econômica, aliada às projeções de aumento da demanda por alimentos nos próximos anos, é fundamental a adoção de novas práticas agrícolas que visem aumentar a produtividade desta e de outras culturas agrícolas da forma mais sustentável possível (SEIXAS *et al.*, 2020; VAN DIJK *et al.*, 2021; SENGER *et al.*, 2022).

A estimativa no Brasil para a safra de grãos 2022/23 prevê um incremento de 39,3 milhões de toneladas a mais em relação ao ciclo anterior, cuja produção total estimada será de 310,9 milhões de toneladas, segundo o levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023).

O aumento da produtividade agrícola tem como bases o desenvolvimento de novas cultivares, melhorias no manejo geral da lavoura e adoção de biotecnologia pelos agricultores. No entanto, fatores bióticos, como a microbiota do solo, devem ser considerados, uma vez que as bactérias e fungos podem ter grande relevância no desenvolvimento vegetal. De maneira geral, os microrganismos do solo influenciam diretamente nas características físicas, químicas e biológicas e interagem com o crescimento, desenvolvimento, produtividade e qualidade das culturas cultivadas.

Dentre esses microrganismos, as bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) são comumente utilizadas na produção da cultura da soja, especialmente por serem bactérias que vivem livremente e formam uma relação simbiótica específica com as plantas, endófitos bacterianos que podem colonizar algumas partes do tecido vegetal e cianobactéria (FARRAR; BRYANT; COPE-SELBY, 2014). As BPCV promovem o crescimento das plantas melhorando o metabolismo vegetal como um todo pela absorção de macronutrientes [nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S)] e micronutrientes [cloro (Cl), ferro (Fe), boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e níquel (Ni)]. No caso das cianobactérias, estas são conhecidas por produzir compostos com uma ampla gama de atividades, incluindo fitormônios e metabólitos biocidas (PRASANNA *et al.*, 2012).

Bactérias fixadoras de N, como *Rhizobium* spp. e *Bradyrhizobium* spp., podem estabelecer simbioses formando nódulos em raízes de plantas leguminosas, como soja, ervilha, amendoim e alfafa, que convertem o N atmosférico (N₂) em amônio (NH₄⁺), a qual é usada como uma das principais fonte de N pelas plantas (MURRAY, 2011). Da mesma maneira que para as leguminosas, estas bactérias promotoras de crescimento podem fertilizar várias culturas agronomicamente importantes, mas fornecendo parte do N demandado pela planta, como para as culturas do trigo, sorgo, milho, arroz e cana-de-açúcar (PÉREZ-MONTAÑO *et al.*, 2014). Apesar dessas bactérias fornecerem N pela fixação biológica para todas as plantas, o processo de fixação de N é mais eficiente em fornecer adequadamente o N para as culturas leguminosas. Exemplos de bactérias de vida livre que têm a capacidade de fixar N são aquelas dos gêneros *Azospirillum*, *Azoarcus*, *Azotobacter*, *Bacillus polymyxa*, *Burkholderia*, *Gluconoacetobacter* e *Herbaspirillum*.

Muitas bactérias promotoras do crescimento vegetal desempenham um duplo papel de promoção do crescimento das plantas, bem como o de agente de biocontrole. Ou seja, as BPCV são capazes de produzir hormônios vegetais, sideróforos e ácidos orgânicos, solubilizar fosfato. Além disso, elas produzem cianeto de hidrogênio e antibióticos para controlar patógenos. A característica de promoção do crescimento de plantas pode ser empregada para a multitarefa no aumento da produtividade das culturas e no cultivo de plantas em solos de baixa fertilidade para produção de biocombustível (RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019).

Além das bactérias, há os fungos que podem auxiliar no desenvolvimento vegetal. Um exemplo com crescente uso agrícola são os produtos à base de *Trichoderma*, os quais são utilizados em diversas culturas, tais



como algodão, soja, milho, feijão, café, citros, morango, hortaliças, tabaco e em frutíferas e espécies florestais. Além do seu reconhecido papel no controle de patógenos, este fungo foi descrito por induzir a resistência de plantas a estresses e por melhorar a aquisição de nutrientes (NICOLÁS *et al.*, 2014). Mais informações e exemplos acerca dos benefícios das interações fungos do solo *versus* soja, serão apontadas no item 5 desta monografia.

Considerando que a maior parte de nosso conhecimento provém de poucos estudos relacionados à estrutura da comunidade microbiana, principalmente em países como o Brasil, é uma tarefa desafiadora decifrar quais grupos microbianos são funcionalmente ativos: um enigma que pode ser resolvido com dados de metatranscriptoma dos microrganismos do solo. As comunidades microbianas funcionais variam de acordo com a localização geográfica, condições ambientais, qualidade do solo, genótipo da planta e estágio de desenvolvimento (RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019).

Destarte, esse trabalho teve como objetivo a realização de uma revisão de literatura acerca do panorama agrícola da cultura da soja e das funcionalidades das comunidades microbianas do solo, buscando verificar o que há de mais novo sobre as interações entre os microrganismos do solo com a soja, nas abordagens biológica e agrônômica, e como são os mecanismos que contribuem para o desenvolvimento vegetativo da cultura.

2. A Cultura da Soja

A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é uma leguminosa que proporciona a obtenção de uma gama diversificada de produtos, tais como o óleo vegetal, o leite de soja, o tofu e a proteína vegetal para alimentação humana e animal. É devido à riqueza do grão, com 38% de proteína para cada 100 gramas, que lhe confere o alto valor agregado e faz com que a espécie seja cultivada em diferentes regiões do mundo (MÜHLBAUER; MÜLLER, 2020; HAMMAD NADEEM TAHIR; RAZZAQ, 2021).

O centro de origem da soja é o nordeste da China, nas latitudes situadas entre 45 e 50° N. O ingresso da soja no Ocidente, inicialmente se deu em locais cujas latitudes eram semelhantes ao centro de origem. Em 1712 a soja chega à Europa, posteriormente sendo relatada por Linnaeus em sua obra *Cliffortianus Hortus*¹, no ano de 1937. Em 1765 a soja tem seu primeiro relato de cultivo nos Estados Unidos, onde fora se expandindo lentamente, à medida em que ocorriam investimentos em pesquisas, que culminou na obtenção de cultivares de soja mais produtivos, resistentes à doenças e adaptados às condições edafoclimáticas do país (GAZZONI, 2018).

No Brasil o primeiro registro de cultivo da soja data de 1882, promovido pelo professor Gustavo Dutra, da Escola de Agronomia da Bahia. A tentativa de Dutra não apresentou sucesso, visto que o material genético era adaptado às condições temperadas e frias. Em 1891, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC-SP) iniciou testes com cultivares de soja que poderiam ser aptas na região. Contudo, foi somente a partir dos 1920-1940 que a soja apresentou sucesso na produção comercial no estado do Rio Grande do Sul (GAZZONI, 2018; SILVA *et al.*, 2022).

Com os avanços das pesquisas no Brasil, a partir dos anos 70, a cultura da soja ganha mais atenção e aprimoramentos, graças ao apoio de instituições como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), institutos estaduais de pesquisa e universidades, além das instituições privadas. Para substituir as cultivares trazidas dos Estados Unidos (28° N a 48°N), foi necessário vencer o desafio de obter plantas adaptadas às condições subtropicais e tropicais do Brasil (5° N a 33°S), uma vez que a amplitude geográfica era

¹ O nome do livro faz referência a um jardim, com elementos zoológicos e botânicos, propriedade de George Clifford. Lineu permaneceu lá durante 2 anos e só no espaço de um ano produziu quase 2 mil páginas sobre este centro (HELLER, 1968).



muito diferente, embora se desenvolvessem de forma razoável entre os estados do Rio Grande do Sul e o Paraná, no sul brasileiro (DALL'AGNOL, 2016; GAZZONI, 2018).

O avanço foi tão grande que fez o Brasil produzir soja com a mesma eficiência em qualquer parte do seu território, destacando-se a Região Centro-Oeste (Cerrado), cuja produtividade é notoriamente superior à obtida no Rio Grande do Sul (RS), estado antes considerado mais tradicional na produção desta oleaginosa. Tais resultados são decorrentes do pioneirismo de agricultores migrantes da região sul do país, aliados aos pesquisadores brasileiros, que ao desenvolverem variedades adaptadas, conseguiram introduzir características genéticas desejáveis, tais como o período juvenil longo, permitindo a inibição do florescimento antecipado da soja em condições de baixa latitude (DALL'AGNOL, 2016).

A inoculação de plantas cultivadas com microrganismos benéficos associados às raízes pode ser uma estratégia útil para a intensificação sustentável da agricultura (GARCIA *et al.*, 2021). O uso de bactérias fixadoras de N, que são inoculadas às sementes de soja, pode representar uma economia no uso fertilizantes nitrogenados e melhorar o rendimento das culturas. O gênero *Bradyrhizobium* é utilizado para preparar inoculantes destinados à sojicultura, para potencializar a fixação biológica de N (FBN). As bactérias capturam N do ar e o convertem em compostos que as plantas podem absorver. A presença de nódulos nas raízes indica que a relação simbiótica entre a planta e a bactéria estão ativos, e ao abrir o nódulo, a cor rósea indica total atividade bacteriana atuando na FBN. O inoculante entrega mais de 300 kg de N ha⁻¹ à soja no qual substitui o fertilizante nitrogenado convencional e reduz o custo em até 95% de economia em relação à adubação nitrogenada (ANTUNES, 2019).

A coinoculação de culturas com bactérias fixadoras de N e rizobactérias (BPCV) é outra estratégia que ao ser adotada melhora o crescimento das plantas e aumenta a tolerância à seca em áreas áridas ou semiáridas (JABBOROVA *et al.*, 2021). Vale ressaltar que, além do impacto econômico, o uso de inoculantes reduz a emissão de gases de efeito estufa na produção agrícola e, assim, contribui para o desenvolvimento econômico sustentável (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2019). Nos próximos tópicos será melhor detalhado quais são esses benefícios à cultura da soja.

3. O Papel da Microbiota do Solo para o Desenvolvimento das Plantas

A produtividade agrícola e a sustentabilidade a longo prazo dependem de interações positivas entre três componentes principais com os quais as culturas interagem: solos, comunidades microbianas nos solos e práticas de manejo agrícola ao cultivo de plantas (SOMAN *et al.*, 2017). As comunidades microbianas do solo desempenham atividades fundamentais para sustentar os agroecossistemas e mediar muitos processos biológicos, incluindo ciclagem e disponibilidade de nutrientes e biorremediação, que são importantes para melhorar a função do solo. Embora as estratégias de manejo (aração e uso de defensivos agrícolas, por exemplo) afetem a estrutura e a diversidade das comunidades microbianas, as suas funções das espécies presentes na microbiota podem sofrer alterações em seus serviços no agroecossistema (LIU *et al.*, 2017; SOMAN *et al.*, 2017; BORASE *et al.*, 2020; ZHANG; SHU; WEI, 2021).

A fauna microbiana do solo está em equilíbrio dinâmico e é constituída pelas interações entre os fatores bióticos e abióticos, os quais podem ser alterados pelas modificações do meio ambiente. Os organismos mais abundantes e os mais versáteis, capazes de degradar produtos químicos, são as bactérias, cuja população que varia de 10⁶ a 10⁹g⁻¹ solo. No caso dos fungos, há em menor densidade populacional, variando de 10⁴ a 10⁶ g⁻¹ solo. Cabe destacar que menos de 1% da diversidade de espécies microbianas do solo podem ser cultivadas por técnicas convencionais em laboratório (MATIOS, 2016). Considerando que o nível de diversidade do solo é maior do que as estimativas baseadas em métodos de extração de DNA, esforços são necessários para obter metagenomas totais para estudos imparciais de ecologia microbiana. No entanto, esses métodos geram grandes



quantidades de informações, exigindo avanços em bioinformática para acomodar as grandes quantidades de dados de sequenciamentos obtidos (DELMONT *et al.*, 2011).

Dentre os inúmeros microrganismos estudados, ampla gama de espécies beneficiam o crescimento das plantas nas comunidades bacterianas do solo, tais como as conhecidas rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCV) (LIU *et al.*, 2017). Embora todas as bactérias sejam distintas umas das outras de várias maneiras, todas exibem os mesmos mecanismos enquanto promovem o crescimento vegetal. Elas podem promover o crescimento diretamente, facilitando a aquisição de recursos ou modificando os níveis de hormônios vegetais e indiretamente, reduzindo os efeitos deletérios de vários agentes patogênicos no crescimento e desenvolvimento das plantas (MAHANTY *et al.*, 2017).

A utilização das BPCV na agricultura tem sido difundida cada vez mais. Quando elas se instalam na rizosfera são capazes de promover o crescimento das plantas através da produção de fitormônios, pela fixação biológica de N ou pela solubilização do P, além de atuarem no combate aos agentes patogênicos do solo. Dessa maneira, as plantas têm a capacidade de promover maior crescimento, suportar estresses ambientais e atingir altas produtividades. Entretanto, a relação bactéria-planta quanto aos efeitos de absorção de alguns nutrientes essenciais ainda não é muito clara, necessitando de mais pesquisas sobre essas interações, principalmente em regiões brasileiras agrícolas (NASCIMENTO, 2020).

Os estresses abiótico e biótico afetam negativamente a sobrevivência e o desempenho das plantas. Estas modulam os genes responsivos ao estresse para manter a homeostase em condições de estresse (SHAIK; RAMAKRISHNA, 2014), que é reforçada pelas bactérias promotoras de crescimento, resultando em melhor rendimento da cultura e fertilidade do solo (SINGH; JHA, 2017). Plantas hiperacumuladoras e/ou de alta biomassa têm a capacidade de mitigar a contaminação por metais pesados no solo (PIDATALA *et al.*, 2018). Esta capacidade pode ser ainda melhorada pelas bactérias promotoras de crescimento, especialmente por *Pseudomonas* sp. e *Bacillus* sp. que aumentam a biomassa vegetal através da aquisição de nutrientes em solos contaminados com metais pesados ou de baixa fertilidade (DHAWI; DATTA; RAMAKRISHNA, 2016; MA *et al.*, 2017).

Sabe-se que os actinomicetos produzem hidrolases da parede celular e antibióticos (BALTZ, 2016), que suprimem fitopatógenos do solo, como espécies *Fusarium oxysporum*, *Xanthomonas oryzae*, *Rhizotocnia solani* e outros patógenos vegetais (GOUDJAL *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2015). Li *et al.* (2017) relataram cinco actinomicetos que mostraram efeitos inibitórios significativos sobre patógenos de plantas: *Streptomyces globisporus subsp. globisporus*, *Streptomyces globisporus*, *S. flavotricini*, *S. pactum* e *S. senoensis*.

O *Sclerotium rolfsii* é um patógeno fúngico de solo, amplamente distribuído em regiões tropicais e subtropicais que atacam a base do caule da planta, ocorrendo em diversas culturas, inclusive em leguminosas como feijão e soja (RAHMAN *et al.*, 2018; ABDELHAFEZ *et al.*, 2021). No estágio final da infecção, o rompimento do transporte de água e nutrientes pelo patógeno leva à morte da planta (GAO; YIN, 2010). Actinomicetos avaliados apresentaram maiores efeitos inibitórios e foram posteriormente examinados quanto à inibição da germinação esclerótica. O efeito antagônico foi resultado da produção de enzimas extracelulares que degradam a parede celular nas condições de meio de cultura, tais como quitinase, B-1,3-glicosidase e FP-celulase (FLORES; NAVA, 2019).

Antibióticos são compostos orgânicos de baixo peso molecular produzidos por microrganismos e desempenham um importante papel no biocontrole de várias pragas por meio da competição e parasitismo (THIRUVENGADAM; SARAVANAKUMAR; PONNUSWAMI, 2011). A antibiose é um fenômeno importante na supressão de doenças por *Pseudomonas fluorescens*. A maioria das rizobactérias atua contra os



nematoides parasitas de plantas (PPN's) produzindo toxinas, subprodutos metabólicos e enzimas. Isso ajuda na inibição da eclosão de nematoides, desenvolvimento, sobrevivência e reprodução (MHATRE *et al.*, 2019).

A amônia produzida no momento da decomposição dos materiais orgânicos nitrogenados por bactérias amoníacas é tóxica aos nematoides e auxilia na redução de suas populações. Relata-se que a *P. fluorescens* produz metabólitos secundários como o 2-4-diacetilfloroglucinol que reduziu a população de nematoides císticos (MHATRE *et al.*, 2019). Considerando que algumas rizobactérias foram encontradas produzindo compostos como o cianamida hidrogenada, que mata organismos deletérios da rizosfera e ajuda a criar um ambiente favorável para um melhor crescimento da planta (TIAN *et al.*, 2007).

Rizvi *et al.* (2012), ainda, verificaram que a presença de *P. fluorescens* é responsável pela redução na taxa de crescimento de nematoides e se mostrou mais efetiva quando combinada com a torta de neem. Em um estudo, três gêneros de BPCV *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rizobium* e um gênero micorrízico *Glomus sp.* foram relatados na diminuição significativa das galhas causadas por *M. javanicain* na cultura do grão de bico (MHATRE *et al.*, 2019).

Quanto aos fungos, eles também podem contribuir no desenvolvimento vegetal. A exemplo, algumas estirpes do gênero *Trichoderma* ampliam a área total do sistema radicular, possibilitando às plantas maior aquisição de nutrientes oriundos do solo. Além do benefício às plantas, esses fungos apresentam custo de aquisição acessível, não apresentam toxicidade aos animais e ao homem, além de persistirem no solo, dispensando reaplicações e adaptação a diferentes ecossistemas (CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2022). Adiante será abordado com maiores detalhes quais são os benefícios dos fungos à cultura da soja.

A maior concentração de estudos quanto a comunidade microbiana está em países desenvolvidos e há uma carência e limitação a estudos envolvendo estrutura e função da comunidade microbiana em países de região tropical e subtropical, como o Brasil. Decifrar quais grupos microbianos compõem os diferentes solos e estão funcionalmente ativos é um desafio em que o primeiro passo é desvendar as comunidades microbianas com dados de atividade enzimática do solo, metagenômica e metatranscriptoma dos microrganismos do solo. As comunidades microbianas funcionais variam de acordo com a localização geográfica, condições ambientais, qualidade do solo, genótipo e o estágio de desenvolvimento da planta (RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019).

4. Efeitos Das Bactérias Promotoras Do Crescimento Vegetal Na Cultura Da Soja

No processo natural, as plantas obtêm seus nutrientes direta e indiretamente pela atividade das bactérias do solo, das quais mais de 95% estão nas raízes das plantas (SINGH *et al.*, 2016). Assim sendo, essa fonte biológica deve ser explorada para identificar quais são as potenciais BPCV que podem ser úteis para o desenvolvimento de bioinoculantes, ou componentes da rizosfera, de modo a promover o crescimento e aumento do rendimento de plantas cultivadas, como a soja.

Os rizóbios são bactérias que fornecem N para a nutrição dos vegetais, enquanto que a sua associação com outros microrganismos endofíticos proporciona mecanismos acessórios na promoção do crescimento, que pode ser através da resistência às doenças, produção de fitormônios, suprimento de P e N, dentre outros. Uma das cepas de endofíticos mais abundantes na rizosfera e nos nódulos são aquelas pertencentes ao gênero *Bacillus*, o qual atua como produtor de fitormônios, como ácido indolacético (AIA), que juntamente com a síntese de sideróforos solubilizadores de fosfato contribuem para a nutrição das plantas de soja (BRAMBILLA *et al.*, 2022). Além desses benefícios, o gênero *Bacillus* pode apresentar propriedades antifúngicas, pois as bactérias podem liberar enzimas que atuaram na degradação da parede celular do fungo, destruindo conseqüentemente o seu micélio (ZHAO; XU; LAI, 2018).



Além da reconhecida FBN pelas rizobactérias, há espécies que podem contribuir na aquisição de outros nutrientes pelas plantas de soja. Bakhshandeh *et al.* (2020) verificaram que a germinação de sementes, crescimento de plântulas e absorção de K pela soja foram positivos com a inoculação de *Bacillus megaterium* e com a coinoculação tripla, constituída de *Bacillus cereus* + *Bacillus megaterium* + *Trichoderma simmonsii*, considerados pelos autores como os melhores tratamentos que podem atuar como sinérgicos na germinação das sementes e capazes de promover o crescimento das plântulas e a absorção de K da soja sob condições de laboratório, além de possível recomendação para aplicação no campo. Ai *et al.* (2022) buscaram isolar 33 cepas de BPCV com afinidade específica para promoção de crescimento na soja, constituídas pelos gêneros *Bacillus*, *Enterobacter*, *Arthrobacter*, *Cupriavidus*, *Rhizobium*, *Caulobacter* e *Pseudomonas*. Os autores verificaram que essas linhagens foram capazes de sobreviver na rizosfera da soja e colonizar novos espaços da mesma após o crescimento e extensão de suas raízes. Essas cepas BPCV específicas da soja promoveram significativamente o crescimento e a produtividade da soja e aumentaram os teores de nutrientes no solo da rizosfera e nas folhas das plantas, pois todas os 33 isolados foram capazes de produzir AIA e solubilizar fosfato inorgânico e K, tornando-os disponíveis à soja.

No solo, está presente uma grande quantidade de P insolúvel que não pode ser absorvida pelas plantas, limitando assim o seu crescimento. As bactérias promotoras de crescimento vegetal convertem o P em uma forma solúvel que pode ser utilizada pelas plantas. A maior parte do fosfato absorvido por uma célula está na forma de HPO_4^{2-} ou PO_4^- . Bactérias solubilizadoras de fosfato, como dos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Serratia*, convertem fosfatos insolúveis em solúveis através do processo de acidificação, quelação, reações de troca e produção de ácido glucônico (PÉREZ-MONTAÑO *et al.*, 2014). Husna *et al.* (2023) avaliaram o papel das estirpes de BPCV na biorremediação pelo estresse causado por cromo e arsênio na soja, e foi constatado que os gêneros *Acinetobacter beijerinckii* e *Raoultella planticola* apresentaram solubilização máxima de fosfato após 48 h de incubação.

Há outras bactérias que auxiliam no crescimento vegetal, tais como a *Enterobacter cloacae*, bactéria rizosférica que tem como principal característica a capacidade de promover o desenvolvimento vegetal por meio da produção de auxinas, etileno, citocininas, sideróforos e fixação de N, juntamente com atividade de biocontrole contra o patógeno *Phytophthora sojae* 01. *Acinetobacter calcoaceticus* é uma espécie que exhibe intensa capacidade de produzir sideróforos e inibir o crescimento do fungo patogênico *P. sojae* 01, competindo com este pela disponibilidade de ferro, além disso, sintetiza AIA e fixa N, o que contribui para aumentar a produtividade das plantas de soja. Complementarmente, atua no biocontrole à espécie *Ochrobactrum haematophilum*, a qual produz enzimas líticas tais como quitinases, β -1,3-glucanases e proteases (ZHAO; XU; LAI, 2018).

Outra atuação importante é que as BPCV podem contribuir no desenvolvimento vegetativo da soja através da coinoculação. Um estudo conduzido por Jabborova *et al.* (2021) utilizando estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* USDA110 e *Pseudomonas putida* ONUU8 demonstrou que pode haver aumento na tolerância à seca, nodulação, crescimento da planta e absorção de nutrientes em condições de seca, trazendo mais benefícios na nodulação e crescimento da soja se comparada às plantas inoculadas apenas com *B. japonicum* USDA110.

Outra ameaça na cultura da soja são as doenças, as quais podem prejudicar a perfeita condução desta commodity. O fungo *Phytophthora sojae*, causador da podridão radicular, pode ser mitigado por bactérias antagonistas pertencentes aos gêneros *Enterobacter*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Ochrobactrum* e *Bacillus*. Tal informação reforça a necessidade de buscar mais informações sobre as bactérias endofíticas de nódulos como recursos importantes na busca de inibidores específicos para os fungos na soja e aumentar a diversidade de espécies microbianas no solo (ZHAO; XU; LAI, 2018).



Rhizoctonia solani é um dos mais importantes fungos patogênicos do solo, desenvolvendo-se em solos cultivados e não cultivados na forma de escleródios que não geram esporos assexuados. O tombamento das mudas é a doença mais comum causada por essa espécie e a utilização de fungicidas para controlar doenças transmitidas pelo solo, além de ter um custo elevado, pode resultar em riscos ambientais, afetar a saúde humana e causar efeitos adversos entre os microrganismos benéficos no solo (OMARA *et al.*, 2018). Em um estudo conduzido por Prajakta *et al.* (2019), a estirpe de *Bacillus mojavensis* produziu metabólitos voláteis com presença dos grupo aldeído, acetil e cianeto, além disso, a capacidade de produção de sideróforos, ácido indolacético, catalase, oxidase e quitinase, bem como o potencial de solubilização de fosfato a tornam benéfica para o crescimento da soja e biofortificação do solo.

5. Efeitos dos Fungos Promotores do Crescimento Vegetal na Cultura Da Soja

A utilização de fungos endofíticos para promover o crescimento e aliviar o estresse abiótico ganhou atenção considerável nos últimos anos. No entanto, a sua associação com plantas cultivadas e seus efeitos sob estresses abióticos é menos explorada (BILAL *et al.*, 2020). A aplicação de fungos e possivelmente de outros microrganismos como uma estratégia ecológica pode favorecer a tolerância e o crescimento das plantas sob estresses abióticos (YAGHOUBIAN *et al.*, 2022 a).

Fungos endofíticos são encontrados em todos os tipos de tecido vegetal e demonstram melhorar o crescimento e os sistemas de defesa das plantas, além de atenuar o estresse biótico e abiótico. A disseminação e transmissão destes fungos se dá via sementes, nas quais estudos muito recentes relatam que os microbiomas de sementes de fungos podem ser altamente influenciados pelas condições edafoclimáticas locais (KLAEDTKE *et al.*, 2016; SHAHZAD *et al.*, 2018). Essa influência positiva dos fungos endofíticos nas plantas hospedeiras é atribuída à produção de substâncias fitobenéficas, como ACC-desaminase, auxinas, giberelinas, ácido abscísico, sideróforos e substâncias poliméricas extracelulares, além da solubilização de nutrientes do solo, oferecendo um arsenal extra à planta hospedeira para neutralizar diferentes estresses (KHAN *et al.*, 2015; DENG; CAO, 2017; BILAL *et al.*, 2018).

A seca é um fator limitante à cultura da soja que pode ser mitigada pela utilização de cepas fúngicas. Yaghoubian *et al.* (2022 b) utilizaram uma coinoculação composta pela bactéria *Azotobacter chroococcum* e *Piriformospora indica*, constatando que embora o déficit hídrico tenha reduzido drasticamente a altura da planta, o acúmulo de glicina betaína, açúcares solúveis e proteínas aumentou nas parcelas que receberam a coinoculação, a qual foi mais eficiente quando comparada às inoculações feitas somente com fungo e bactérias separadamente.

Outro fungo que tem sido utilizado com sucesso em diferentes culturas pertence ao gênero *Trichoderma*. Os benefícios de *Trichoderma* spp. estão associados às suas características funcionais, que conferem a este gênero aptidão para ser utilizado na agricultura no controle de doenças e pragas de plantas, estímulos no crescimento vegetal, indução de respostas de defesa das plantas, além de elevar a tolerância ao estresse e a disponibilidade de nutrientes (WONGLOM; ITO; SUNPAPAO, 2020; TYŚKIEWICZ *et al.*, 2022).

Cabe destacar que os microrganismos pertencentes ao gênero *Trichoderma* têm mostrado respostas positivas na produção da soja e outras culturas, entretanto essa eficiência varia de acordo com a cepa, a cultura, a época de aplicação, bem como as condições edafoclimáticas onde a cultura está implantada (HALIFU *et al.*, 2019; LÓPEZ *et al.*, 2019; BONONI *et al.*, 2020). Alguns estudos mostraram que, especificamente para a soja, o gênero *Trichoderma* pode atuar no biocontrole de nematoides (OLIVEIRA *et al.*, 2021), solubilização de fosfato (BONONI *et al.*, 2020), além de ser observado aumento de biomassa da parte aérea parte, raízes e nodulação desta cultura (MACENA *et al.*, 2020).



A espécie *Trichoderma asperelloides* apresentou-se como uma espécie promotora do crescimento da soja, conferindo efeitos positivos na emergência e no estande final, bem como na nodulação e na biomassa vegetal, o que se refletiu no aumento de sua produtividade de grãos a nível de campo. Durante as práticas de manejo a serem empregadas ao usar o gênero *Trichoderma* como inoculante, recomenda-se atenção especial no manejo fitossanitário da cultura da soja, evitando a aplicação de fungicidas de amplo espectro, a fim de evitar o controle da população desse fungo benéfico (SENGER *et al.*, 2022).

As redes de hifas, derivadas das associações simbióticas mutualísticas entre plantas e fungos micorrízicos arbusculares melhoram o crescimento e a nutrição das plantas, permitindo que haja aumento do acesso das raízes em uma área de solo significativamente maior, facilitando a disponibilidade e a translocação de nutrientes dentro da planta hospedeira. Entretanto, os fungos micorrízicos podem beneficiar as plantas além da nutrição com fósforo, fazendo com que elas apresentem maior tolerância ao estresse abiótico e biótico, por exemplo (BENNETT; GROTEN, 2022). Experimentos conduzidos por Pedroso *et al.* (2022) com as culturas da soja e do milho, em resposta à simbiose micorrízica originada da inoculação de sementes contendo uma mistura de quatro espécies de fungos micorrízicos incrementaram o crescimento de ambas culturas, as quais foram semelhantes ou melhores do que o controle fertilizado com P sem micorrizas. Ademais, destaca-se que o rendimento da soja e do milho aumentou quando as sementes micorrizadas foram fertilizadas com P.

6. Benefícios do Sistema de Plantio Direto sobre a Palha e os Microrganismos Associados

O preparo do solo eleva a atividade microbiana devido ao aumento da temperatura e aeração do solo. Consequentemente, a mineralização do carbono orgânico total (COT) e do N são afetados (SINGH *et al.*, 2020). O aumento das atividades microbianas devido ao preparo do solo contribuiu para a diminuição do COT e do N total do solo a partir dos 15 cm de profundidade do solo, conforme relatado no Texas por Neely *et al.* (2018).

No Brasil, os sistemas de plantio direto, mesmo nos primeiros anos após sua implantação, são uma forma bem-sucedida de recuperação dos atributos do solo para a produção agrícola em antigas áreas de cultivo convencional e favorecem a preservação do solo nas zonas tropicais e subtropicais, ocupando mais de 32 milhões de hectares no Brasil em 2017 (TORRES *et al.*, 2019; DEMETRIO *et al.*, 2020). Além disso, a manutenção da palhada na superfície do solo aumenta a retenção de umidade do solo e gera novos habitats para uma variedade de microrganismos (MCDANIEL; GRANDY, 2016).

No sistema de plantio direto é importante considerar que as diferentes culturas utilizadas como cobertura no solo ou graníferas em rotação de culturas podem interferir diretamente nas populações de microrganismos, favorecendo um determinado grupo em detrimento de outro (FINNEY; BUYER; KAYE, 2017). Entretanto, o solo pode se tornar um melhor ambiente para que as bactérias e a cultura da soja se desenvolvam. Isso pode ser obtido através do manejo mais tardio da biomassa das culturas de cobertura. Ademais, fatores únicos são insuficientes para aumentar a eficiência dos microrganismos, os quais serão favorecidos por um conjunto de características do ambiente agrícola, como condições ambientais favoráveis e bons teores de matéria orgânica, para que assim, associados, possam refletir em uma maior percepção do desenvolvimento vegetal, que por conseguinte ampliará a produtividade, reduzirá custos, mitigará os problemas ambientais e irá melhorar o balanço ambiente-productividade-rentabilidade para o produtor rural (MARTIN *et al.*, 2022).

7. Avanços e Desafios do Uso de Microrganismos na Cultura da Soja

Em nível global, a aplicação de BPCV a campo ainda requer a quebra de certas barreiras que permitem um uso mais amplo para estimular a produção e melhorias de culturas agrícolas, bem como neutralizar os efeitos negativos de potenciais fitopatógenos (GLICK, 2020). Ainda existem certos resultados inconsistentes com



alguns bioinoculantes, sejam eles bioestimulantes do crescimento vegetal ou biopesticidas, quando aplicados no campo. Os fatores podem ser diversos, mas um desafio é o tempo de vida que as BPCV têm como parte de um bioinoculante, devido às condições ambientais no armazenamento e na época de aplicação.

Algumas cepas, como *Bacillus* spp., podem ser aplicadas na forma de esporos, o que prolonga sua vida útil do microrganismo (SANTOYO; OROZCO-MOSQUEDA; GOVINDAPPA, 2012). No entanto, outras cepas não esporuladas requerem novas formulações que lhes permitam sobreviver e manter uma viabilidade eficiente até a inoculação. Uma vez inoculados no campo, é desejável que os agentes bacterianos inoculados persistam no solo e colonizem espaços como a rizosfera. Portanto, é necessário selecionar e aplicar aquelas linhagens altamente competitivas na rizosfera das plantas, que sejam eficientes colonizadoras de espaços e possam exercer suas atividades benéficas nesse microambiente (OROZCO-MOSQUEDA *et al.*, 2021).

A aplicação de inoculantes na forma de pó ou líquido na filosfera vegetal também apresenta alguns desafios. Por exemplo, as condições climáticas podem ser mutáveis e diminuir a eficiência se não houver colonização bacteriana adequada e fixação nas folhas (LIU; BRETTELL; SINGH, 2020). Por outro lado, os desafios enfrentados na produção de novos bioinoculantes podem ser diferentes em todo o mundo, pelo simples fato de que as condições edáficas, climáticas e geográficas são extremamente variáveis (EGAMBERDIEVA; LUGTENBERG, 2014; OJUEDERIE; OLANREWAJU; BABALOLA, 2019). Por isso, há décadas estuda-se o isolamento de cepas nativas que permitam melhorar os cultivos das mesmas localidades de onde foram coletadas, o que sugeriria uma maior eficiência para exercer suas ações benéficas quando associadas às plantas nos mesmos tipos de solos agrícolas. Por esse motivo, mais pesquisas são necessárias para associar os aspectos abióticos às propriedades benéficas de cada bioinoculante (OROZCO-MOSQUEDA *et al.*, 2021).

A utilização de BPCV como inoculantes microbianos está ganhando mais espaço como um método ambientalmente amigável de promover melhorias no desempenho agrônômico de diversas culturas em comparação e, algumas vezes associados, à aplicação de fertilizantes químicos, os quais em excesso prejudicam o meio ambiente. Sua aplicação remonta mais de 100 anos, no entanto, foi nas últimas três décadas que sua utilização ganhou destaque, com diversos inoculantes comercializados e disponíveis no mercado (SANTOYO *et al.*, 2016; ADEDEJI; HÄGGBLÖM; BABALOLA, 2020).

A eficácia dos inoculantes microbianos, quando aplicados no campo, depende de vários fatores ambientais, que incluem salinidade, pH do solo, temperaturas extremas e água inadequada, o que pode dificultar sua função na promoção do crescimento vegetal. Existe um amplo mercado para a indústria de biofertilizantes, mas ainda não totalmente explorado. Os microrganismos mais comumente usados como biofertilizantes, biocontroladores e biorremediadores incluem os gêneros bacterianos *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Streptomyces* spp. e fungos como *Trichoderma* spp. e micorrizas (ALORI; DARE; BABALOLA, 2017).

Inoculação de soja com *Bacillus* sp. e *Paenibacillus* sp. Apresenta grande potencial para promover o crescimento da soja, bem como atenuar os efeitos adversos impostos pela seca. Por esta razão, o uso de *Bacillus* sp. e *Paenibacillus* sp. para uso biotecnológico na agricultura através de novos biofertilizantes para regiões úmidas e sob estiagem, principalmente no cultivo da soja, é promissor (BRAGA; CRUZ; DE MELO, 2022).

O uso de inoculantes ou biofertilizantes têm sido cada vez mais adotados pelos agricultores, mas sua compatibilidade com pesticidas, principalmente quando usados para tratamento de sementes, é baixa. Diante disso, são necessárias novas estratégias para resolver a incompatibilidade entre pesticidas e inoculantes, pois as propostas até agora ainda são muito modestas quanto à sua viabilidade, já que a agricultura continuará a exigir o uso de defensivos químicos (SANTOS *et al.*, 2021).



8. Considerações Finais

Nas relações soja-microrganismos do solo, o uso da inoculação com rizobactérias para promover o aumento no crescimento das plantas é viável, uma vez que as bactérias mineralizam e disponibilizam nutrientes de forma eficiente às plantas, seja por meio de mecanismos diretos ou indiretos de interação planta-microrganismo. Além disso, muitos deles apresentam ação antagônica contra patógenos do solo, bem como estimulam a produção de fitormônios de crescimento da soja.

Os microrganismos rizosféricos auxiliam tanto no aumento da produção agrícola como no aumento da fertilidade do solo e na mitigação dos vários estresses bióticos e abióticos. Assim, explorando as propriedades benéficas desses microrganismos há a possibilidade de melhorar o crescimento e a produtividade das culturas de forma sustentável, sem causar impactos ambientais negativos por meio de melhorias na biologia do sistema da sojicultura.

Referências

- ABDELHAFEZ, A. A. *et al.* Application of soil biofertilizers to a clayey soil contaminated with *Sclerotium rolfsii* can promote production, protection and nutritive status of *Phaseolus vulgaris*. **Chemosphere**, v. 271, p. 129321, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129321>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- ADEDEJI, A. A.; HÄGGBLÖM, M. M.; BABALOLA, O. O. Sustainable agriculture in Africa: Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to the rescue. **Scientific African**, v. 9, p. e00492, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00492>. Acesso em: 5 fev. 2023.
- AI, W.; GUO, T.; LAY, K. D.; OU, K.; CAI, K.; DING, Y.; LIU, J.; CAO, Y. Isolation of soybean-specific plant growth-promoting rhizobacteria using soybean agglutinin and evaluation of their effects to improve soybean growth, yield, and soil nutritional status. **Microbiological Research**, v. 261, p. 127076, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127076>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- ALORI, E. T.; DARE, M. O.; BABALOLA, O. O. Microbial Inoculants for Soil Quality and Plant Health. *In*: LICHTFOUSE, E. (org.). **Sustainable Agriculture Reviews**. Cham: Springer International Publishing, 2017. (Sustainable Agriculture Reviews). p. 281–307. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-48006-0_9. Acesso em: 13 dez. 2022.
- ANTUNES, J. M. **Inoculação reduz custos com fertilizantes na soja**. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/46716731/inoculacao-reduz-custos-com-fertilizantes-na-soja>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- BAKHSHANDEH, E.; GHOLAMHOSSEINI, M.; YAGHOUBIAN, Y.; PIRDASHTI, H. Plant growth promoting microorganisms can improve germination, seedling growth and potassium uptake of soybean under drought and salt stress. **Plant Growth Regulation**, v. 90, n. 1, p. 123–136, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10725-019-00556-5>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- BALTZ, R. H. Genetic manipulation of secondary metabolite biosynthesis for improved production in *Streptomyces* and other actinomycetes. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 43, n. 2–3, p. 343–370, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10295-015-1682-x>



BENNETT, A. E.; GROTEN, K. The Costs and Benefits of Plant–Arbuscular Mycorrhizal Fungal Interactions. **Annual Review of Plant Biology**, v. 73, n. 1, p. 649–672, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820-124504>. Acesso em: 11 dez. 2022.

BILAL, S.; ALI, L.; KHAN, A. L.; SHAHZAD, R.; ASAF, S.; IMRAN, M.; KANG, S.-M.; KIM, S.-K.; LEE, I.-J. Endophytic fungus *Paecilomyces formosus* LHL10 produces sester-terpenoid YW3548 and cyclic peptide that inhibit urease and α -glucosidase enzyme activities. **Archives of Microbiology**, v. 200, n. 10, p. 1493–1502, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00203-018-1562-7>. Acesso em: 5 dez. 2022.

BILAL, S.; SHAHZAD, R.; IMRAN, M.; JAN, R.; KIM, K. M.; LEE, I.-J. Synergistic association of endophytic fungi enhances *Glycine max* L. resilience to combined abiotic stresses: Heavy metals, high temperature and drought stress. **Industrial Crops and Products**, v. 143, p. 111931, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111931>. Acesso em: 18 nov. 2022.

BONONI, L.; CHIARAMONTE, J. B.; PANSA, C. C.; MOITINHO, M. A.; MELO, I. S. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 2858, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59793-8>. Acesso em: 5 dez. 2022.

BORASE, D. N.; NATH, C. P.; HAZRA, K. K.; SENTHILKUMAR, M.; SINGH, S. S.; PRAHARAJ, C. S.; SINGH, U.; KUMAR, N. Long-term impact of diversified crop rotations and nutrient management practices on soil microbial functions and soil enzymes activity. **Ecological Indicators**, v. 114, p. 106322, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106322>. Acesso em: 6 set. 2022.

BRAGA, A. P. A.; CRUZ, J. M.; DE MELO, I. S. Rhizobacteria from Brazilian semiarid biome as growth promoters of soybean (*Glycine max* L.) under low water availability. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 53, n. 2, p. 873–883, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00711-7>. Acesso em: 13 dez. 2022.

BRAMBILLA, S.; STRITZLER, M.; SOTO, G.; AYUB, N. A synthesis of functional contributions of rhizobacteria to growth promotion in diverse crops. **Rhizosphere**, v. 24, p. 100611, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100611>. Acesso em: 18 nov. 2022.

CHAGAS JUNIOR, A. F.; SOUZA, M. C.; MARTINS, A. L. L.; LIMA, C. A.; SOUSA, K. Â. O. de; SANTANA, P. A. A. C. P.; LOPES, M. B.; CHAGAS, L. F. B. Eficiência de *Trichoplus* (*Trichoderma asperellum*) como promotor de crescimento vegetal em soja em campo no cerrado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e16111527970–e16111527970, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.27970>. Acesso em: 28 nov. 2022.

CONAB. **Produção de grãos da safra 2022/2023 está estimada em 310,9 milhões de t, aponta 4º levantamento da Conab.** [s. l.], 2023. Disponível em: https://cast.conab.gov.br//post/2023-01-13_4_lev_graos/. Acesso em: 4 fev. 2023.

DALL’AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições.** 1a edição ed. Brasília, DF: Embrapa, 2016.



- DELMONT, T. O.; ROBE, P.; CECILLON, S.; CLARK, I. M.; CONSTANCIAS, F.; SIMONET, P.; HIRSCH, P. R.; VOGEL, T. M. Accessing the soil metagenome for studies of microbial diversity. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 4, p. 1315–1324, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.01526-10>
- DEMETRIO, W. C.; RIBEIRO, R. H.; NADOLNY, H.; BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G. Earthworms in Brazilian no-tillage agriculture: Current status and future challenges. **European Journal of Soil Science**, v. 71, n. 6, p. 988–1005, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ejss.12918>. Acesso em: 11 dez. 2022.
- DENG, Z.; CAO, L. Fungal endophytes and their interactions with plants in phytoremediation: A review. **Chemosphere**, v. 168, p. 1100–1106, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.097>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- DHAWI, F.; DATTA, R.; RAMAKRISHNA, W. Mycorrhiza and heavy metal resistant bacteria enhance growth, nutrient uptake and alter metabolic profile of sorghum grown in marginal soil. **Chemosphere**, v. 157, p. 33–41, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.112>
- EGAMBERDIEVA, D.; LUGTENBERG, B. Use of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria to Alleviate Salinity Stress in Plants. In: MIRANSARI, M. (org.). **Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses, Volume 1**. New York, NY: Springer, 2014. p. 73–96. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9466-9_4. Acesso em: 13 dez. 2022.
- FARRAR, K.; BRYANT, D.; COPE-SELBY, N. Understanding and engineering beneficial plant–microbe interactions: plant growth promotion in energy crops. **Plant Biotechnology Journal**, v. 12, n. 9, p. 1193–1206, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pbi.12279>. Acesso em: 7 ago. 2022.
- FINNEY, D. M.; BUYER, J. S.; KAYE, J. P. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 72, n. 4, p. 361–373, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2489/jswc.72.4.361>. Acesso em: 13 dez. 2022.
- FLORES, C.; NAVA, E. Plant Growth-Promoting Microbial Enzymes. In: KUDDUS, M. (ed.). **Enzymes in Food Biotechnology**. 1. ed. [S. l.]: Elsevier, 2019. p. 521–534. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00030-X>
- GAO, X. Y.; YIN, J. L. Overview of southern blight in Chinese medicinal plants. **Plant Diseases and Pests**, v. 1, n. 1, p. 28–34, 2010. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113129839>. Acesso em: 6 set. 2022.
- GARCIA, J.; SCHMIDT, J. E.; GIDEKEL, M.; GAUDIN, A. C. M. Impact of an antarctic rhizobacterium on root traits and productivity of soybean (*Glycine max* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 12, p. 1818–1825, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1884704>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 3, p. 16–18, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21800/2317-66602018000300005>. Acesso em: 5 set. 2022.



GLICK, B. R. Issues Regarding the Use of PGPB. *In*: GLICK, B. R. (org.). **Beneficial Plant-Bacterial Interactions**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 361–383. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-44368-9_11. Acesso em: 13 dez. 2022.

GOUDJAL, Y.; TOUMATIA, O.; YEKKOUR, A.; SABAOU, N.; MATHIEU, F.; ZITOUNI, A. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off and promotion of tomato plant growth by endophytic actinomycetes isolated from native plants of Algerian Sahara. **Microbiological Research**, v. 169, n. 1, Special Issue on Plant Growth Promotion., p. 59–65, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.06.014>. Acesso em: 6 set. 2022.

HALIFU, S.; DENG, X.; SONG, X.; SONG, R. Effects of Two *Trichoderma* Strains on Plant Growth, Rhizosphere Soil Nutrients, and Fungal Community of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Annual Seedlings. **Forests**, v. 10, n. 9, p. 758, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10090758>. Acesso em: 5 dez. 2022.

HAMMAD NADEEM TAHIR, M.; RAZZAQ, H. Chapter 8 - Untapped Soybeans: A Genetic Reservoir for its Improvement. *In*: AZHAR, M. T.; WANI, S. H. (org.). **Wild Germplasm for Genetic Improvement in Crop Plants**. United States of America: Academic Press, 2021. p. 139–151. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822137-2.00008-4>. Acesso em: 5 set. 2022.

HELLER, J. L. LINNAEUS'S HORTUS CLIFFORTIANUS. **TAXON**, v. 17, n. 6, p. 663–719, 1968. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1218012>. Acesso em: 5 set. 2022.

HUSNA; HUSSAIN, A.; SHAH, M.; HAMAYUN, M.; IQBAL, A.; QADIR, M.; ALATAWAY, A.; DEWIDAR, A. Z.; ELANSARY, H. O.; LEE, I.-J. Phytohormones producing rhizobacteria alleviate heavy metals stress in soybean through multilayered response. **Microbiological Research**, v. 266, p. 127237, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127237>. Acesso em: 29 nov. 2022.

JABBOROVA, D.; KANNEPALLI, A.; DAVRANOV, K.; NARIMANOV, A.; ENAKIEV, Y.; SYED, A.; ELGORBAN, A. M.; BAHKALI, A. H.; WIRTH, S.; SAYYED, R. Z.; GAFUR, A. Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 22081, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01337-9>. Acesso em: 17 nov. 2022.

KHAN, A. L.; HUSSAIN, J.; AL-HARRASI, A.; AL-RAWAHI, A.; LEE, I.-J. Endophytic fungi: resource for gibberellins and crop abiotic stress resistance. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 35, n. 1, p. 62–74, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3109/07388551.2013.800018>. Acesso em: 5 dez. 2022.

KLAEDTKE, S.; JACQUES, M.-A.; RAGGI, L.; PRÉVEAUX, A.; BONNEAU, S.; NEGRI, V.; CHABLE, V.; BARRET, M. Terroir is a key driver of seed-associated microbial assemblages: Terroir shapes the seed microbiota. **Environmental Microbiology**, v. 18, n. 6, p. 1792–1804, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12977>. Acesso em: 5 dez. 2022.

LI, Y.; HE, F.; LAI, H.; XUE, Q. Mechanism of in vitro antagonism of phytopathogenic *Scelrotium rolfsii* by actinomycetes. **European journal of plant pathology**, v. 149, n. 2, p. 299–311, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1177-x>



- LIU, H.; BRETTELL, L. E.; SINGH, B. Linking the Phyllosphere Microbiome to Plant Health. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 9, p. 841–844, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.06.003>. Acesso em: 13 dez. 2022.
- LIU, J.; YU, Z.; YAO, Q.; HU, X.; ZHANG, W.; MI, G.; CHEN, X.; WANG, G. Distinct soil bacterial communities in response to the cropping system in a Mollisol of northeast China. **Applied Soil Ecology**, v. 119, p. 407–416, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.013>. Acesso em: 6 set. 2022.
- LÓPEZ, A. C.; ALVARENGA, A. E.; ZAPATA, P. D.; LUNA, M. F.; VILLALBA, L. L. Trichoderma spp.. from Misiones, Argentina: effective fungi to promote plant growth of the regional crop *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Mycology**, v. 10, n. 4, p. 210–221, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21501203.2019.1606860>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- MA, Y.; RAJKUMAR, M.; MORENO, A.; ZHANG, C.; FREITAS, H. Serpentine endophytic bacterium *Pseudomonas azotoformans* ASS1 accelerates phytoremediation of soil metals under drought stress. **Chemosphere**, v. 185, p. 75–85, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.135>
- MACENA, A. M. F.; KOBORI, N. N.; MASCARIN, G. M.; VIDA, J. B.; HARTMAN, G. L. Antagonism of Trichoderma-based biofungicides against Brazilian and North American isolates of *Sclerotinia sclerotiorum* and growth promotion of soybean. **BioControl**, v. 65, n. 2, p. 235–246, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10526-019-09976-8>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- MAHANTY, T.; BHATTACHARJEE, S.; GOSWAMI, M.; BHATTACHARYYA, P.; DAS, B.; GHOSH, A.; TRIBEDI, P. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 4, p. 3315–3335, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>. Acesso em: 7 ago. 2022.
- MARTIN, T. N.; STECCA, J. D. L.; DEAK, E. A.; SINTRA, F. F.; MARTINS, M. F.; VEY, R. T. Microrganismos promotores de crescimento, fixadores de nitrogênio e solubilizadores na cultura da soja. *In*: MARTIN, T. N.; PIRES, J. L. F.; VEY, R. T. (org.). **Tecnologias aplicadas para o manejo rentável e eficiente da cultura da soja**. 1. ed. Santa Maria - RS: Editora GR, 2022. p. 69–103.
- MATTOS, M. L. T. Microbiologia do Solo. *In*: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. de O. (org.). **Recurso Solo: Propriedades e Usos**. 1. ed. São Carlos-SP: Editora Cubo, 2016.
- MCDANIEL, M. D.; GRANDY, A. S. Soil microbial biomass and function are altered by 12 years of crop rotation. **SOIL**, v. 2, n. 4, p. 583–599, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/soil-2-583-2016>. Acesso em: 11 dez. 2022.
- MHATRE, P. H.; KARTHIK, C.; KADIRVELU, K.; DIVYA, K. L.; VENKATASALAM, E. P.; SRINIVASAN, S.; RAMKUMAR, G.; SARANYA, C.; SHANMUGANATHAN, R. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A potential alternative tool for nematodes bio-control. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 17, n. September 2018, p. 119–128, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.009>



- MÜHLBAUER, W.; MÜLLER, J. Chapter 5.4 - Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *In*: MÜHLBAUER, W.; MÜLLER, J. (org.). **Drying Atlas**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2020. p. 163–168. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818162-1.00019-5>. Acesso em: 5 set. 2022.
- MURRAY, J. D. Invasion by invitation: rhizobial infection in legumes. **Molecular plant-microbe interactions: MPMI**, v. 24, n. 6, p. 631–639, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-10-0181>
- NASCIMENTO, F. C. do. **Absorção de nitrogênio e fósforo em milho, soja e cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas em diferentes níveis de adubação**. 2020. Tese de Doutorado (Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista - UNESP FCAV, Jaboticabal - SP, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/193476>. Acesso em: 28 nov. 2022.
- NEELY, C. B.; ROUQUETTE, F. M.; MORGAN, C. L.; SMITH, G. R.; HONS, F. M.; ROONEY, W. L. Integrating Legumes as Cover Crops and Intercrops into Grain Sorghum Production Systems. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 4, p. 1363–1378, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.05.0293>. Acesso em: 11 dez. 2022.
- NICOLÁS, C.; HERMOSA, R.; RUBIO, B.; MUKHERJEE, P. K.; MONTE, E. Trichoderma genes in plants for stress tolerance- status and prospects. **Plant Science**, v. 228, p. 71–78, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.03.005>. Acesso em: 7 ago. 2022.
- OJUEDERIE, O. B.; OLANREWaju, O. S.; BABALOLA, O. O. Plant Growth Promoting Rhizobacterial Mitigation of Drought Stress in Crop Plants: Implications for Sustainable Agriculture. **Agronomy**, v. 9, n. 11, p. 712, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy9110712>. Acesso em: 13 dez. 2022.
- OLIVEIRA, C. M.; ALMEIDA, N. O.; CÔRTEZ, M. V. de C. B.; JÚNIOR, M. L.; DA ROCHA, M. R.; ULHOA, C. J. Biological control of *Pratylenchus brachyurus* with isolates of *Trichoderma* spp.. on soybean. **Biological Control**, v. 152, p. 104425, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104425>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- OMARA, A. E.-D.; NOUR EL-DIN, M.; HAUKA, F.; HAFEZ, A.; EL-NAHRAWY, S.; GHAZI, A.; ELSAKHAWY, T.; FUSCO, V. Suppression of *Rhizoctonia solani* damping-off in Soybean (*Glycine max* L.) by plant growth promoting rhizobacteria strains. **Environment, Biodiversity and Soil Security**, v. 2, n. 1, p. 210–220, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2018.3231.1024>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- OROZCO-MOSQUEDA, M. del C.; FLORES, A.; ROJAS-SÁNCHEZ, B.; URTIS-FLORES, C. A.; MORALES-CEDENO, L. R.; VALENCIA-MARIN, M. F.; CHÁVEZ-AVILA, S.; ROJAS-SOLIS, D.; SANTOYO, G. Plant Growth-Promoting Bacteria as Bioinoculants: Attributes and Challenges for Sustainable Crop Improvement. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1167, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11061167>. Acesso em: 13 dez. 2022.
- PEDROSO, R. M.; MEDEIROS, C. A.; OMETTO, A.; PAES, V.; DE, A. E. F.; INMAN, S.; DA, S. J. R.; PEDROS, G. M. Seed inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi propagules enhanced yield, biomass accumulation, and plant vigor of soybeans (*Glycine max*) and maize (*Zea mays*). **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 5, p. 649–656, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3316/informit.636589795472721>. Acesso em: 9 dez. 2022.



- PÉREZ-MONTAÑO, F.; ALÍAS-VILLEGAS, C.; BELLOGÍN, R. A.; DEL CERRO, P.; 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**, v. 169, n. 5, p. 325–336, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.011>. Acesso em: 7 ago. 2022.
- PIDATALA, V. R.; LI, K.; SARKAR, D.; WUSIRIKA, R.; DATTA, R. Comparative metabolic profiling of vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) and maize (*Zea mays*) under lead stress. **Chemosphere**, v. 193, p. 903–911, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.087>
- PRAJAKTA, B. M.; SUVARNA, P. P.; RAGHVENDRA, S. P.; ALOK, R. R. Potential biocontrol and superlative plant growth promoting activity of indigenous *Bacillus mojavensis* PB-35(R11) of soybean (*Glycine max*) rhizosphere. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 10, p. 1143, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1149-1>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- PRASANNA, R.; RANA, A.; CHAUDHARY, V.; JOSHI, M.; NAIN, L. Cyanobacteria-PGPR Interactions for Effective Nutrient and Pest Management Strategies in Agriculture. *In*: SATYANARAYANA, T.; JOHRI, B. N. (org.). **Microorganisms in Sustainable Agriculture and Biotechnology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. p. 173–195. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-007-2214-9_10. Acesso em: 4 fev. 2023.
- RAHMAN, M. T.; BHUIYAN, M. K. A.; KARIM, M. A.; RUBAYET, M. T. SCREENING OF SOYBEAN RESISTANCE GENOTYPES AGAINST. **Research in: Agricultural & Veterinary Sciences**, v. 2, n. 3, p. 139–156, 2018.
- RAMAKRISHNA, W.; YADAV, R.; LI, K. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 10–18, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.019>. Acesso em: 7 ago. 2022.
- RIZVI, R.; MAHMOOD, I.; TIYAGI, S. A.; KHAN, Z. Conjoint effect of oil-seed cakes and *Pseudomonas fluorescens* on the growth of chickpea in relation to the management of plant-parasitic nematodes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, p. 801–808, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000600001>. Acesso em: 6 set. 2022.
- SANTOS, M. S.; RODRIGUES, T. F.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. The Challenge of Combining High Yields with Environmentally Friendly Bioproducts: A Review on the Compatibility of Pesticides with Microbial Inoculants. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 870, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050870>. Acesso em: 13 dez. 2022.
- SANTOYO, G.; MORENO-HAGELSIEB, G.; DEL CARMEN OROZCO-MOSQUEDA, Ma.; GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacterial endophytes. **Microbiological Research**, v. 183, p. 92–99, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008>. Acesso em: 13 dez. 2022.
- SANTOYO, G.; OROZCO-MOSQUEDA, Ma. del C.; GOVINDAPPA, M. Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of *Bacillus* and *Pseudomonas*: a review. **Biocontrol**



Science and Technology, v. 22, n. 8, p. 855–872, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09583157.2012.694413>. Acesso em: 13 dez. 2022.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. **Tecnologias de produção de soja**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2020. *E-book*. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1123928>. Acesso em: 13 dez. 2022.

SENGER, M.; URREA-VALENCIA, S.; NAZARI, M. T.; VEY, R. T.; PICCIN, J. S.; MARTIN, T. N. Evaluation of *Trichoderma asperelloides*-based inoculant as growth promoter of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): a field-scale study in Brazil. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12892-022-00177-x>. Acesso em: 5 dez. 2022.

SHAHZAD, R.; KHAN, A. L.; BILAL, S.; ASAF, S.; LEE, I.-J. What Is There in Seeds? Vertically Transmitted Endophytic Resources for Sustainable Improvement in Plant Growth. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00024>. Acesso em: 5 dez. 2022.

SHAIK, R.; RAMAKRISHNA, W. Machine Learning Approaches Distinguish Multiple Stress Conditions using Stress-Responsive Genes and Identify Candidate Genes for Broad Resistance in Rice. **Plant Physiology**, v. 164, n. 1, p. 481–495, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.113.225862>. Acesso em: 6 set. 2022.

SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CAMARA, G. (org.). **Soja: do plantio à colheita**. São Paulo - SP: Oficina de Textos, 2022.

SILVA JÚNIOR, J. J.; MIYAMOTO, B. C. B.; COLETI, J. de C.; SILVEIRA, J. M. F. J. da. Impacto Econômico dos Inoculantes na Soja: Uma Análise Insumo-Produto. **Revista de Estudos Sociais**, v. 21, n. 42, p. 99–121, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.19093/res7911>. Acesso em: 17 nov. 2022.

SINGH, G.; DHAKAL, M.; YANG, L.; KAUR, G.; WILLIARD, K. W. J.; SCHOONOVER, J. E.; SADEGHPOUR, A. Decomposition and nitrogen release of cover crops in reduced- and no-tillage systems. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 5, p. 3605–3618, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.20268>. Acesso em: 11 dez. 2022.

SINGH, R. P.; JHA, P. N. The PGPR *Stenotrophomonas maltophilia* SBP-9 Augments Resistance against Biotic and Abiotic Stress in Wheat Plants. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, 2017. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.01945>. Acesso em: 12 ago. 2023.

SINGH, R. P.; MANCHANDA, G.; SINGH, R. N.; SRIVASTAVA, A. K.; DUBEY, R. C. Selection of alkalotolerant and symbiotically efficient chickpea nodulating rhizobia from North-West Indo Gangetic Plains. **Journal of Basic Microbiology**, v. 56, n. 1, p. 14–25, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jobm.201500267>. Acesso em: 17 nov. 2022.

SOMAN, C.; LI, D.; WANDER, M. M.; KENT, A. D. Long-term fertilizer and crop-rotation treatments differentially affect soil bacterial community structure. **Plant and Soil**, v. 413, n. 1, p. 145–159, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3083-y>. Acesso em: 6 set. 2022.



- THIRUVENGADAM, R.; SARAVANAKUMAR, D.; PONNUSWAMI, B. Molecular Approaches to Improvement of Biocontrol Agents of Plant Diseases. **Journal of Biological Control**, v. 25, p. 1–11, 2011.
- TIAN, B.; YANG, J.; LIAN, L.; WANG, C.; LI, N.; ZHANG, K.-Q. Role of an extracellular neutral protease in infection against nematodes by *Brevibacillus laterosporus* strain G4. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 74, n. 2, p. 372–380, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0690-1>
- TORRES, J. L. R. *et al.* Soil physical attributes and organic matter accumulation under no-tillage systems in the Cerrado. **Soil Research**, v. 57, n. 7, p. 712–718, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR19047>. Acesso em: 11 dez. 2022.
- TYŚKIEWICZ, R.; NOWAK, A.; OZIMEK, E.; JAROSZUK-ŚCISEŁ, J. Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 4, p. 2329, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- VAN DIJK, M.; MORLEY, T.; RAU, M. L.; SAGHAI, Y. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. **Nature Food**, v. 2, n. 7, p. 494–501, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>. Acesso em: 13 dez. 2022.
- WONGLOM, P.; ITO, S.; SUNPAPAO, A. Volatile organic compounds emitted from endophytic fungus *Trichoderma asperellum* T1 mediate antifungal activity, defense response and promote plant growth in lettuce (*Lactuca sativa*). **Fungal Ecology**, v. 43, p. 100867, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.100867>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- XU, B.; CHEN, W.; WU, Z.; LONG, Y.; LI, K. A Novel and Effective *Streptomyces* sp. N2 Against Various Phytopathogenic Fungi. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 177, n. 6, p. 1338–1347, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1818-5>
- YAGHOUBIAN, I.; ANTAR, M.; GHASSEMI, S.; MODARRES-SANAVY, S. A. M.; SMITH, D. L. The Effects of Hydro-Priming and Colonization with *Piriformospora indica* and *Azotobacter chroococcum* on Physio-Biochemical Traits, Flavonolignans and Fatty Acids Composition of Milk Thistle (*Silybum marianum*) under Saline Conditions. **Plants**, v. 11, n. 10, p. 1281, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11101281>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- YAGHOUBIAN, I.; MODARRES-SANAVY, S. A. M.; SMITH, D. L. Plant growth promoting microorganisms (PGPM) as an eco-friendly option to mitigate water deficit in soybean (*Glycine max* L.): Growth, physio-biochemical properties and oil content. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 191, p. 55–66, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.09.013>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- ZHANG, C.; SHU, D.; WEI, G. Soybean cropping patterns affect trait-based microbial strategies by changing soil properties. **Applied Soil Ecology**, v. 167, p. 104095, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104095>. Acesso em: 5 set. 2022.



ZHAO, L.; XU, Y.; LAI, X. Antagonistic endophytic bacteria associated with nodules of soybean (*Glycine max* L.) and plant growth-promoting properties. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 2, p. 269–278, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.06.007>. Acesso em: 17 nov. 2022.