

**APLICAÇÃO DE BACTÉRIAS COMO AGENTES DE
BIOCONTROLE MICROBIANO (BCAS) NA PREVENÇÃO DE
INFECÇÕES POR FITOPATÓGENOS**

PRISCILA ARAÚJO

**Aplicação de bactérias como agentes de biocontrole microbiano (BCAs) na
prevenção de infecções por fitopatógenos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Universidade de
Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para o
título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador (a): Prof.^(a) Dr (a). Lisianne Brittes Benitez

Santa Cruz do Sul

2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta jornada. Sem Sua orientação e bênçãos, este trabalho não teria sido possível.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a mim mesmo, por todo o esforço, dedicação e resiliência demonstrados durante este processo. Este trabalho é um reflexo do meu compromisso e determinação.

Agradeço à minha orientadora, Prof.(a) Dr (a). Lisianne Brittes Benitez, por sua orientação, paciência e apoio ao longo deste processo. Sua expertise e conselhos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos bolsistas e ao pessoal que trabalha no bloco 20, meu sincero agradecimento pelo suporte e colaboração. Suas contribuições foram essenciais para a realização desta pesquisa.

À minha família, meu eterno agradecimento pelo amor, compreensão e incentivo constante. Sem o apoio de vocês, esta jornada não teria sido possível. Agradeço especialmente aos meus pais, Marilei Cristiane da Silva Araújo e José Enio de Oliveira Araújo por acreditarem em mim e me proporcionarem todas as oportunidades necessárias para alcançar meus objetivos.

Por fim, agradeço a UNISC, ao CNPQ e todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa. Este trabalho é fruto de um esforço coletivo e sou imensamente grata a todos que fizeram parte desta trajetória

RESUMO

O controle biológico de fitopatógenos por microrganismos benéficos tem se consolidado como alternativa segura e sustentável ao uso de fungicidas sintéticos. Esta dissertação foi desenvolvida em formato de artigos científicos, abrangendo uma revisão sistemática da literatura e um estudo experimental. O primeiro artigo, baseado no protocolo PRISMA, analisou o uso de bactérias como agentes de biocontrole na agricultura. A análise bibliométrica de 27 artigos publicados entre 2013 e 2025 destacou o crescimento do uso de BCAs e a importância de se explorar novas cepas promissoras. O segundo artigo abordou o potencial de bactérias do gênero *Bacillus* contra o fungo *Rhizoctonia solani*. Entre cinco cepas avaliadas, *Bacillus subtilis* JB5 apresentou maior atividade antagonista. A cepa produziu enzimas hidrolíticas, ácido indolacético, solubilizou fósforo e cresceu em meio livre de nitrogênio. A substância antimicrobiana extraída foi identificada como um possível peptídeo tipo-bacitracina, com ação sobre *Listeria monocytogenes* e *R. solani*. Embora os testes com sementes de alface não tenham demonstrado diferença estatística significativa, os dados indicaram tolerância ao patógeno e sugerem o potencial da cepa JB5 como agente de biocontrole.

Palavras-chave: Controle biológico, Agentes de Controle Biológico, *Bacillus subtilis*, *Rhizoctonia solani*.

ABSTRACT

APPLICATION OF BACTERIA AS MICROBIAL BIOCONTROL AGENTS (BCAS) TO PREVENT INFECTIONS BY PHYTOPATHOGENS

The biological control of phytopathogens using beneficial microorganisms has emerged as a safe and sustainable alternative to synthetic fungicides. This dissertation was developed in the form of scientific articles, comprising a systematic literature review and an experimental study. The first article, based on the PRISMA protocol, analyzed the use of bacteria as biocontrol agents (BCAs) in agriculture. A bibliometric analysis of 27 articles published between 2013 and 2025 highlighted the growing use of BCAs and the importance of exploring new promising strains. The second article investigated the potential of *Bacillus* spp. against the fungus *Rhizoctonia solani*. Among five strains evaluated, *Bacillus subtilis* JB5 showed the greatest antagonistic activity. This strain produced hydrolytic enzymes, indole-3-acetic acid, solubilized phosphate, and grew in nitrogen-free medium. The antimicrobial compound extracted was identified as a possible bacitracin-like peptide, with inhibitory activity against *Listeria monocytogenes* and *R. solani*. Although no statistically significant differences were observed in the germination tests with *Lactuca sativa* seeds, the results indicated tolerance to the pathogen and suggest the potential of strain JB5 as a biocontrol agent.

Keywords: Biological control, Biological Control Agents, *Bacillus subtilis*, *Rhizoctonia solani*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
4 METODOLOGIA.....	14
REFERÊNCIAS	16

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional gera uma demanda crescente por alimentos. Estimativas indicam que, até 2050, as necessidades alimentares crescerão entre 59% e 98%, tornando essencial elevar a produtividade das culturas agrícolas mundialmente (WALLACE, 2023). Para alcançar essa maior produtividade, é fundamental produzir mais em áreas cada vez menores, o que envolve a adoção de técnicas de manejo e controle de pragas e doenças nas plantações.

Historicamente, o uso de pesticidas químicos tem sido a principal estratégia para controlar as pragas. Embora essa técnica tenha se mostrado eficaz, a aplicação excessiva de pesticidas químicos resulta na degradação do solo, riscos ambientais, resíduos de pesticidas nos alimentos, resistência das pragas e problemas de saúde humana (RAJ *et al.*, 2023).

Com o objetivo de aumentar a produtividade sem comprometer o equilíbrio ambiental, diversas alternativas vêm sendo desenvolvidas. Entre elas, destaca-se a sustentabilidade agroambiental, que visa harmonizar a produção agrícola com a conservação da biodiversidade (TOMAR *et al.*, 2024).

Nesse contexto, o biocontrole surge como uma alternativa segura e ecologicamente correta para o manejo agrícola, pois evita o uso excessivo de produtos químicos, garantindo a proteção ambiental e a segurança alimentar (CHENG *et al.*, 2023).

Os Agentes de Controle Biológico (BCAs, do inglês Biological Control Agents) são parte integrante das técnicas de biocontrole. Eles utilizam organismos vivos, como agentes microbianos (bactérias, fungos, vírus etc.), para controlar pragas e doenças nas plantas. Os BCAs são mais eficazes devido à ausência de emissões tóxicas, ao contrário dos produtos químicos sintéticos. O uso de organismos vivos e seus subprodutos no combate às pragas apoia o ambiente natural, apresentando-se como uma alternativa segura e sustentável (SINGH *et al.*, 2022).

Nesse contexto, o presente trabalho está dividido em dois artigos. O primeiro é uma revisão de literatura, intitulado “Uso de agentes de biocontrole microbiano na agricultura: status atual e perspectivas futuras”. O segundo artigo, de natureza experimental, intitula-se “O gênero *Bacillus* como agente de biocontrole sobre o fungo *Rhizoctonia solani*”.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar o potencial de bactérias isoladas de ambientes naturais como agentes de controle biológico, visando sua aplicação no manejo de doenças microbianas em plantas.

2.2 Objetivos específicos

- Selecionar isolados bacterianos com atividade antimicrobiana frente ao fitopatógeno *Rhizoctonia solani*;
- Selecionar a cepa bacteriana com maior efeito antagonista *in vitro* para os estudos de biocontrole;
- Investigar a produção de “substância antimicrobiana” pela bactéria selecionada e avaliar sua atividade antifúngica;
- Avaliar e comparar o potencial bioprotetor do sobrenadante livre de células (SNLC) e da “substância antimicrobiana” sobre sementes de *Lactuca sativa* L infectadas com o fungo *Rhizoctonia solani*.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A agricultura sustentável é um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), e seu alcance depende, em grande parte, da adoção de alternativas que reduzam a dependência de pesticidas químicos nos sistemas de produção agrícola. Nesse contexto, diversos países, especialmente na Europa, têm incentivado o uso de agentes de biocontrole microbiano (*biological control agents* – BCAs) como alternativa ou complemento aos pesticidas sintéticos, no manejo de doenças e pragas (MARIAN; SHIMIZU, 2019).

De acordo com Samaras *et al.* (2021), os BCAs são compatíveis com os princípios da agricultura sustentável, contribuindo para a redução do uso de agroquímicos, a minimização de impactos ambientais e à saúde humana, além de retardar a resistência dos patógenos a produtos químicos convencionais.

Os organismos utilizados como BCAs pertencem a diferentes grupos taxonômicos, abrangendo representantes dos domínios Bacteria e Eukarya. Diversos BCAs já são comercializados, geralmente em formulações desenvolvidas pela indústria biotecnológica com o objetivo de proteger culturas agrícolas contra fitopatógenos ou pragas (TORRACCHI *et al.*, 2020).

Para que os agentes atuem de forma eficaz, é fundamental compreender seus mecanismos de ação. Entre os mecanismos mais descritos estão: o parasitismo (microparasitismo, parasitismo direto ou hiperparasitismo); a produção de antibióticos, caracterizada pela secreção de metabólitos secundários com baixo peso molecular e ação deletéria sobre microrganismos mesmo em baixas concentrações (FRAVEL, 1988); a ação enzimática, por meio da degradação de quitina, proteínas e polissacarídeos; a competição por recursos ambientais; a produção de sideróforos, moléculas quelantes de ferro (Fe^{3+}) com alta afinidade e especificidade (BARBEAU *et al.*, 2002); e a indução de resistência sistêmica em plantas (ALIZADEH *et al.*, 2020).

Segundo Stenberg *et al.* (2021), o controle biológico é caracterizado pela interação entre três componentes: (1) o organismo-alvo (praga ou patógeno), (2) o agente biológico de controle, e (3) o benefício gerado ao ser humano a partir dessa interação.

Microrganismos com potencial biocontrolador podem atuar por diversos mecanismos simultaneamente, como competição por espaço e nutrientes, indução de resistência em plantas

e liberação de substâncias antimicrobianas (KÖHL *et al.*, 2019). Diversas pesquisas têm se concentrado no uso de bactérias como *Bacillus* spp. como agentes de biocontrole (ZHANG *et al.*, 2022; HAMZE; RUIU, 2022; OLIVER *et al.*, 2019). Nessas investigações, observou-se não apenas a inibição de fitopatógenos, mas também a promoção do crescimento vegetal, o que permite que esses microrganismos sejam classificados, em alguns casos, como biofertilizantes. Esse efeito é atribuído à produção de compostos como o ácido fenilacético, pertencente à classe das auxinas, e ao ciclodipeptídeo Phe-Pro, que atua na modulação da sinalização hormonal (AZABOU *et al.*, 2020).

Além das bactérias, fungos como *Trichoderma* spp. também apresentam expressiva atuação no controle biológico, especialmente contra nematoides do gênero *Meloidogyne*. Estudos indicam que a atuação desses fungos pode envolver múltiplos mecanismos de ação de forma sinérgica (TARIQJAVEED *et al.*, 2021; PASCALE *et al.*, 2017).

Os agentes de biocontrole também podem atuar no período pós-colheita, colonizando tecidos vegetais como endófitos ou atuando na superfície das plantas, como microrganismos epífitos e rizosféricos. Dependendo de suas propriedades fisiológicas, podem ser classificados como bactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPB, do inglês *Plant Growth-Promoting Bacteria*), micorrizas ou simplesmente BCAs (SARE *et al.*, 2021).

Os avanços na aplicação dos BCAs demonstram sua eficácia tanto no controle de doenças como na melhoria da qualidade do solo e das plantas. Têm sido recomendados não apenas como agentes curativos, mas também como biofertilizantes ou condicionadores do solo, atuando preventivamente para a manutenção de um microbioma rizosférico equilibrado (HASHEMI *et al.*, 2022; SARE *et al.*, 2021; TAHERI *et al.*, 2022).

Dentre os principais patógenos agrícolas, *Rhizoctonia solani* destaca-se por sua ampla gama de hospedeiros e pela severidade dos danos causados. Este fungo ataca sementes, raízes, caules e outras partes vegetativas, provocando sintomas como apodrecimento de sementes, *damping-off*, podridão radicular e cancro do caule (SENAPATI *et al.*, 2022; ZHAO *et al.*, 2005).

As estratégias de manejo de *R. solani* incluem o uso de cultivares resistentes, fungicidas químicos, rotação de culturas e substituição do solo (ALI *et al.*, 2023; HUSSAIN *et al.*, 2024). Entretanto, o uso de BCAs tem se mostrado uma alternativa sustentável e promissora.

Espécies do gênero *Bacillus* vêm sendo amplamente utilizadas no combate a fitopatógenos de solo, principalmente devido à sua capacidade de produzir substâncias antimicrobianas, induzir resistência sistêmica (ISR, do inglês *Induced Systemic Resistance*)

em plantas e favorecer seu desenvolvimento (DARAZ *et al.*, 2021). Em particular, *Bacillus subtilis* tem se destacado pela síntese de lipopeptídeos como iturinas, surfactinas e fengicinas, que atuam na desestabilização da membrana celular de fungos, inibindo seu crescimento, além de exoenzimas que decompõem a parede celular fúngica e compostos orgânicos voláteis (VOCs, do inglês *Volatile Organic Compounds*) capazes de estimular a imunidade das plantas (ALETI *et al.*, 2016; ISLAM *et al.*, 2020; LEE *et al.*, 2023).

Dessa forma, ressalta-se a importância da pesquisa científica na validação do uso de BCAs, especialmente *Bacillus subtilis*, como estratégia sustentável para o manejo fitossanitário e promoção do desenvolvimento vegetal. Além disso, é fundamental aprofundar o conhecimento sobre os mecanismos envolvidos e seus efeitos no ambiente agrícola.

4 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido em formato de artigos científicos. O primeiro artigo consistiu em uma revisão sistemática da literatura, com análise bibliométrica, abordando o uso de bactérias como BCAs na prevenção de infecções fúngicas em plantas. Para isso, foram selecionados artigos publicados entre 2013 e 2025, nas bases *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*, utilizando as palavras-chave *Microbial Biocontrol Agents* (BCA), *Biocontrol* e *Biopesticide*, de forma isolada e combinada. A triagem seguiu o protocolo PRISMA 2020, com análise de coocorrência de termos realizada no software VOSviewer (v.1.6.12).

O segundo artigo corresponde à parte experimental do estudo, na qual cinco cepas do gênero *Bacillus* foram avaliadas quanto ao potencial antimicrobiano frente ao fungo *Rhizoctonia solani* por meio da técnica de cultura pareada. A cepa com maior atividade antagonista, identificada como *Bacillus subtilis* JB5, foi selecionada para os testes de produção de substância antimicrobiana e ensaios de biocontrole.

A bactéria foi cultivada em meio BHI a 35 °C por 48 horas, com monitoramento do crescimento celular por contagem de unidades formadoras de colônia (UFC mL⁻¹). A produção da substância antimicrobiana foi otimizada conforme o tempo de cultivo e, posteriormente, extraída com butanol. A atividade antimicrobiana do sobrenadante livre de células (SNLC) e da substância extraída foi avaliada por diluição seriada e difusão em ágar contra *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 e *Rhizoctonia solani*.

A caracterização fenotípica da cepa JB5 incluiu testes de atividade enzimática (caseinase, gelatinase, amilase, celulase), produção de ácido indolacético (AIA), fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfato, e atividade hemolítica. Também foi realizado teste de susceptibilidade a antibióticos, conforme o método de difusão em ágar preconizado por Kirby-Bauer.

Por fim, a eficácia da cepa JB5 na proteção de sementes de alface foi avaliada por meio de ensaios de germinação. As sementes foram inoculadas com *R. solani* e submetidas aos seguintes tratamentos: (i) controle negativo (sem tratamento), (ii) controle positivo (hipoclorito de sódio a 1%), (iii) SLC e (iv) substância antimicrobiana extraída com butanol. As avaliações foram realizadas aos 3 e 8 dias após a semeadura, com mensuração do comprimento das plântulas utilizando o software ImageJ v.1.53t. Para a identificação dos possíveis metabólitos antimicrobianos produzidos por *B. subtilis* JB5, a substância antimicrobiana, extraída com butanol e desidratada, foi submetida à análise por FT-IR.

Os resultados obtidos a partir da revisão sistemática e da análise bibliométrica são apresentados no primeiro artigo, o qual reúne as principais tendências, abordagens metodológicas e microrganismos mais recorrentes em estudos sobre controle biológico. Já o segundo artigo contempla os dados experimentais obtidos *in vitro* e em testes com sementes, destacando o desempenho da cepa *Bacillus subtilis* JB5 como agente antagonista frente ao fitopatógeno *Rhizoctonia solani* e sua atuação na promoção do desenvolvimento inicial de plântulas de alface. Juntos, os dois estudos oferecem uma visão integrada da literatura atual e da aplicação potencial do biocontrole.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-NASSER, A.; BADR, A.N.; FATHY, H.M. et al. Antifungal, antiaflatoxic, and cytotoxic properties of bioactive secondary metabolites derived from *Bacillus* species. *Sci Rep* 14, 16590 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66700-y>
- ADNAN, M.; ISLAM, W.; SHABBIR, A.; KHAN, K. A. et al. Plant defense against fungal pathogens by antagonistic fungi with *Trichoderma* in focus. *Microbial Pathogenesis*, 129, p. 7-18, 2019/04/01/ 2019.
- AGROLINK. Damping-off. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/problemas/damping-off_1886.html. Acesso em: 12 abr. 2025.
- AHANGER, M.A.; BHAT, J.A.; SIDDIQUI, M.H.; RINKLEBE, J.; AHMAD, P. Integration of silicon and secondary metabolites in plants: A significant association in stress tolerance. *J. Exp. Bot.* 2020, 71, 6758–6774.
- ALETI, G.; LEHNER, S.; BACHER, M.; COMPANT, S. et al. Surfactin variants mediate species-specific biofilm formation and root colonization in *Bacillus*. *Environmental microbiology*, 18, n. 8, p. 2634-2645, 2016. Article.
- ALI, Q.; YU, C.; WANG, Y.; SHENG, T. et al. High killing rate of nematode and promotion of rice growth by synthetic volatiles from *Bacillus* strains due to enhanced oxidative stress response. *Physiologia Plantarum*, 175, n. 1, 2023. Article.
- ALIZADEH, M.; VASEBI, Y.; SAFAIE, N. Microbial antagonists against plant pathogens in Iran: A review. v. 5. *Open Agriculture*, 2020. <https://doi.org.ez127.periodicos.capes.gov.br/10.1515/opag-2020-0031>
- ALORI, E.T.; BABALOLA, O.O. Microbial inoculants to improve crop quality and human health in Africa. v.9. *Frente Microbiol*, 2018.
- AMBRICO, A.; TRUPO, M.; MAGARELLI, R.; BALDUCCHI, R.; FERRARO, A.; HRISTOFOROU, E.; MARINO, T.; MUSMARRA, D.; CASELLA, P.; MOLINO, A. Efficacy of *Dunaliella salina* extracts against *Bacillus subtilis* and bacterial plant pathogens. v. 9. *Pathogens*, 2020. <https://doi.org/10.3390/pathogens9080613>.
- ANBU, P.; GOPINATH, S. C. B.; CHAULAGAIN, B. P.; LAKSHMIPRIYA, T. *Microbial Enzymes and Their Applications in Industries and Medicine* 2016. *Biomed Res Int*, 2017, p. 2195808, 2017.
- ARAÚJO, E. V. B. et al. Solubilização de fosfatos e potássio por bactérias rizosféricas – uma revisão. *Nativa, Sinop*, v. 12, n. 4, p. 843–852, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/387981561_Solubilizacao_de_fosfatos_e_potassio_por_bacterias_rizosfericas_-_uma_revisao. Acesso em: 12 abr. 2025.

- ARRUDA, H.; SILVA, E. R.; LESSA M.; PROENÇA, D. J. R.; BARTHOLO, R. VOSviewer and Bibliometrix. Journal of the Medic Library Association. 2022 Jul 1;110(3):392-395. doi: 10.5195/jmla. 2022.1434. PMID: 36589296; PMCID: PMC9782747.
- ASAD, S. A. Mechanisms of action and biocontrol potential of Trichoderma against fungal plant diseases, A review. v. 49. Ecological Complexity, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978>.
- AYAZ, M.; LI, C.-H.; ALI, Q.; ZHAO, W.; CHI, Y.-K.; SHAFIQ, M.; ALI, F.; YU, X.-Y.; YU, Q.; ZHAO, J.-T.; et al. Bacterial and Fungal Biocontrol Agents for Plant Disease Protection: Journey from Lab to Field, Current Status, Challenges, and Global Perspectives. Molecules 2023, 28, 6735. <https://doi.org/10.3390/molecules28186735>.
- AZABOU, M.C.; GHARBI, Y.; MEDHIOUB,I.; ENNOURI, K.; HAZAR BARHAM, H.; TOUNSI, S.; TRIKI,M.A. The endophytic strain Bacillus velezensis OEE1: An efficient biocontrol agent against Verticillium wilt of olive and a potential plant growth promoting bactéria. v.142. Biological Control, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104168>.
- BAILEY, K. L.; BOYETCHKO, S. M.; LÄNGLE, T. Social and economic drivers shaping the future of biological control: A Canadian perspective on the factors affecting the development and use of microbial biopesticides. Biological Control, 52, n. 3, p. 221-229, 2010/03/01/ 2010.
- BALDANI, J.I. Burkholderia tropica sp. nov., a novel nitrogen- fixing, plant-associated bacterium. 54, 2155–2162. Int. J. Syst. Evol. Microbiol, 2004.
- BALDANI, J.I.; REIS, V.M.; VIDEIRA, S.S.; BODDEY, L.H.; BALDANI, V.L.D. The art of isolating nitrogen fixing bacteria from nonleguminous plants using N-free semi-solid media: A practical guide for microbiologists. 384, 413–431. Plant Soil, 2014.<https://doi-org.ez127.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11104-014-2186-6>.
- BALDERAS-RUÍZ, K. A.; GÓMEZ-GUERRERO, C. I.; TRUJILLO-ROLDÁN, M. A.; VALDEZ-CRUZ, N. A. et al. Bacillus velezensis 83 increases productivity and quality of tomato (Solanum lycopersicum L.): Pre and postharvest assessment. Current Research in Microbial Sciences, 2, p. 100076, 2021/12/01/ 2021.
- BARBEAU K.; ZHANG G.; LIVE D.H.; BUTLER A. Petrobactina, um sideróforo fotorreativo produzido pela bactéria marinha que degrada o óleo Marinobacter hidrocarbonoclasticus. J Am Chem Soc, 2002.
- BATISTA, B. D.; LIMA, I. F.; SILVA, L. P.; SOARES, C. R.; ANDRADE, D. P.; SOUZA, F. A.; SOUZA, R. S.; OLIVEIRA, M. C.; SÁ, M. E. L.; FREITAS, S. S. Genomic and functional characterization of plant growth-promoting rhizobacteria in sugarcane. 2021. Thesis (PhD in Microbiology) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, University of São Paulo, Piracicaba, 2021. Available at: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-26032021-155110/>. Accessed on: Apr. 11, 2025.

- BATISTA, B. D.; SINGH, B. K. Realities and hopes in the application of microbial tools in agriculture. *Microbial Biotechnology*, 14, n. 4, p. 1258-1268, 2021.
- BENCHLIH, S.; ESMAEEL, Q.; ABERKANI, K.; TAHIRI, A. et al. Modes of Action of Biocontrol Agents and Elicitors for sustainable Protection against Bacterial Canker of Tomato. *Microorganisms*, 11, n. 3, 2023. Review.
- BENITEZ, L.B.; VELHO, R.V.; LISBOA, M.P.; MEDINA, L.F.; BRANDELLI, A. Isolation and characterization of antifungal peptides produced by *Bacillus amyloliquefaciens* LBM5006. *J Microbiol.* 2010 Dec;48(6):791-7. doi: 10.1007/s12275-010-0164-0. Epub 2011 Jan 9. PMID: 21221936.
- BERLANGA-CLAVERO, M. V.; MOLINA-SANTIAGO, C.; CARABALLO-RODRÍGUEZ, A. M.; PETRAS, D. et al. *Bacillus subtilis* biofilm matrix components target seed oil bodies to promote growth and anti-fungal resistance in melon. *Nat Microbiol*, 7, n. 7, p. 1001-1015, Jul 2022.
- BLAKE, C.; CHRISTENSEN, M. N.; KOVÁCS Á, T. Molecular Aspects of Plant Growth Promotion and Protection by *Bacillus subtilis*. *Mol Plant Microbe Interact*, 34, n. 1, p. 15-25, Jan 2021.
- BOMMARCO, R.; VICO, G.; HALLIN, S. Exploiting ecosystem services in agriculture for increased food security, *Global Food Security*, Volume 17, Pages 57-63, ISSN 2211-9124, <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.04.001>.
- BONATERRA, A.; BADOSA E.; DARANAS N.; FRANCÉS J.; ROSELLÓ G.; MONTESINOS E. Bacteria as Biological Control Agents of Plant Diseases. *Microorganisms*. 2022 Aug 31;10(9):1759. doi: 10.3390/microorganisms10091759. PMID: 36144361; PMCID: PMC9502092.
- BORRISS, R. Phytostimulation and Biocontrol by the Plant-Associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42: An Update. In, 2016. p. 163-184.
- BOSCO, S.; PRENCIPE, S.; MEZZALAMA, M.; SPADARO, D. Screening and characterization of bacterial and fungal endophytes as potential biocontrol agents for rice seed dressing against *Fusarium fujikuroi*. *Biological Control*, 196, p. 105580, 2024/09/01/ 2024.
- BOULAHOUAT, S.; CHERIF-SILINI, H.; SILINI, A.; BOUKET, A. C. et al. Biocontrol Efficiency of Rhizospheric *Bacillus* against the Plant Pathogen *Fusarium oxysporum*: A Promising Approach for Sustainable Agriculture. *Microbiology Research*, v.14, n. 3, p. 892-908, 2023. DOI: 10.3390/microbiolres14030062.
- BOUTONNET, C.; GINIES, C.; ALPHA-BAZIN, B.; ARMENGAUD, J. et al. S-layer is a key element in metabolic response and entry into the stationary phase in *Bacillus cereus* AH187. *Journal of Proteomics*, 289, p. 105007, 2023/10/30/ 2023.

- BrCAST - Brazilian Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing. Tabelas de pontos de corte para interpretação de CIMs e diâmetros de haloS. versão 15.0, 2025 do EUCAST(www.eucast.org). Disponível em: <<https://brcast.org.br/documentos>>.
- BRENDEN, R.; JANDA, J.M. Detection, quantitation and stability of the p haemolysin of *Aeromonas* spp. 24: 247-251. *Journal of Medical Microbiology*, 1987.
- CARMONA-HERNANDEZ, S.; REYES-PÉREZ, J. J.; CHIQUITO-CONTRERAS, R. G.; RINCON-ENRIQUEZ, G. et al. Biocontrol of Postharvest Fruit Fungal Diseases by Bacterial Antagonists: A Review. *Agronomy*, v.9, n. 3, DOI: 10.3390/agronomy9030121.
- CASTALDI, S.; PETRILLO, C.; DONADIO, G.; PIAZ, F. D. et al. Plant Growth Promotion Function of *Bacillus* sp. Strains Isolated from Salt-Pan Rhizosphere and Their Biocontrol Potential against *Macrophomina phaseolina*. *Int J Mol Sci*, 22, n. 7, Mar 24 2021.
- CASTRO, R.J.S.; SATO, H.H. Production and biochemical characterization of protease from *Aspergillus oryzae*: An evaluation of the physical– chemical parameters using agroindustrial wastes as supports. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 3, n. 3, p. 20–25, 2014.
- CHENG, M.; MENG, F.; LV, R.; WANG, P. et al. Postharvest preservation effect of composite biocontrol agent on tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 321, p. 112344, 2023/11/01/ 2023.
- CHOUB, V.; AJUNA, H. B.; WON, S.-J.; MOON, J.-H. et al. Antifungal Activity of *Bacillus velezensis* CE 100 against Anthracnose Disease (*Colletotrichum gloeosporioides*) and Growth Promotion of Walnut (*Juglans regia* L.) Trees. *International Journal of Molecular Sciences*, v.22, n. 19, DOI: 10.3390/ijms221910438.
- CIULLA, M. G.; GELAIN, F. Structure-activity relationships of antibacterial peptides. *Microb Biotechnol*, 16, n. 4, p. 757-777, Apr 2023.
- CÔRTEZ, M. V. D. C. B.; OLIVEIRA, M. I. D. S.; MATEUS, J. R.; SELDIN, L. et al. A pipeline for the genetic improvement of a biological control agent enhances its potential for controlling soil-borne plant pathogens. *Biological Control*, 152, p. 104460, 2021/01/01/ 2021.
- DAME, Z. T.; MAHFUZ, R.; AND ISLAM, T. Bacilli as sources of agrobiotechnology: recent advances and future directions. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 14, n. 2, p. 246-271, 2021/04/03 2021.
- DARAZ, U.; LI, Y.; SUN, Q.; ZHANG, M. et al. Inoculation of *Bacillus* spp. Modulate the soil bacterial communities and available nutrients in the rhizosphere of vetiver plant irrigated with acid mine drainage. *Chemosphere*, 263, 2021. Article.

- DARQUI, F. S.; RADONIC, L. M.; TROTZ, P. M.; LÓPEZ, N. et al. Potato snakin-1 gene enhances tolerance to *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia sclerotiorum* in transgenic lettuce plants. *Journal of Biotechnology*, 283, p. 62-69, 2018/10/10/ 2018.
- DÍAZ-DÍAZ, M.; BERNAL-CABRERA, A.; TRAPERO, A.; MEDINA-MARRERO, R. et al. Characterization of Actinobacterial Strains as Potential Biocontrol Agents against *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani*, the Main Soil-Borne Pathogens of *Phaseolus vulgaris* in Cuba. *Plants*, v.11, n. 5, DOI: 10.3390/plants11050645.
- DIMKIĆ, I.; JANAKIEV, T.; PETROVIĆ, M.; DEGRASSI, G. et al. Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms - A review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 117, p. 101754, 2022/01/01/ 2022.
- DISTEFANO, G.; LA MALFA, S.; VITALE, A.; LORITO, M. et al. Defence-related gene expression in transgenic lemon plants producing an antimicrobial *Trichoderma harzianum* endochitinase during fungal infection. *Transgenic Research*, 17, n. 5, p. 873-879, 2008/10/01 2008.
- DRUZHININA, I. S.; SEIDL-SEIBOTH, V.; HERRERA-ESTRELLA, A.; HORWITZ, B. A. et al. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, 9, n. 10, p. 749-759, 2011/10/01 2011.
- FARHAOUI, A.; TAHIRI, A.; KHADIRI, M.; EL ALAMI, N. et al. Assessing management strategies for mitigating *Rhizoctonia* damping-off in sugar beet cultivation. *The Microbe*, 5, p. 100164, 2024/12/01/ 2024.
- FARIMAN, A.B.; ABBASILIASI, S.; ABDULLAH, S.N.A.; SAUD, H.S.; WONG, M.Y. *Stenotrophomonas maltophilia* isolate UPMKH2 with the abilities to suppress rice blast disease and increase yield a promising biocontrol agente. V. 121. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2022.101872>.
- FRAVEL, D.F. Role of Antibiosis in the Biocontrol of Plants Diseases. v. 26. *Annual Review of Phytopathology*, 1998. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.26.090188.000451>.
- GAURAV, A.; BAKHT, P.; SAINI, M.; PANDEY, S. et al. Role of bacterial efflux pumps in antibiotic resistance, virulence, and strategies to discover novel efflux pump inhibitors. *Microbiology (Reading)*, 169, n. 5, May 2023.
- GEFEN, O.; FRIDMAN, O.; RONIN, I.; BALABAN, N. Q. Direct observation of single stationary-phase bacteria reveals a surprisingly long period of constant protein production activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, n. 1, p. 556-561, 2014/01/07 2014.
- GOTOR-VILA, A.; USALL, J.; TORRES, R.; SOLSONA, C. et al. Biocontrol products based on *Bacillus amyloliquefaciens* CPA-8 using fluid-bed spray-drying process to control postharvest brown rot in stone fruit. *LWT - Food Science and Technology*, 82, p. 274-282, 2017/09/01/ 2017.

- GROVER, M.; BODHANKAR, S.; SHARMA, A.; SHARMA, P. et al. PGPR Mediated Alterations in Root Traits: Way Toward Sustainable Crop Production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 2021. Review.
- HAMZE, R.; RUIU, L. *Brevibacillus laterosporus* as a Natural Biological Control Agent of Soil-Dwelling Nematodes. v 12. *Agronomy*. University of Sassari, 2022. DOI:10.3390/agronomy12112686
- HANIF, A.; ZHANG, F.; LI, P.; LI, C. et al. Fengycin produced by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 inhibits *Fusarium graminearum* growth and mycotoxins biosynthesis. *Toxins*, 11, n. 5, 2019. Article.
- HASAN NAQVI, S. A.; REHMAN, A. U.; DIN UMAR, U. U. Synergistic interplay of microbial probiotics in rice rhizosphere: A sustainable strategy for bacterial blight management through microbiome engineering. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 136, p. 102568, 2025/03/01/ 2025.
- HASHEMI, M.; TABET,D.; SANDRONI, M.; CELMA, C.B.; SEEMATI, J.; ANDERSEN, C.B.; BRIGGS, L.J.G. The hunt for sustainable biocontrol of oomycete plant pathogens, a case study of *Phytophthora infestans* v.40. *Fungal Biology Reviews*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.003>.
- HERNÁNDEZ-SALMERÓN, J. E.; PRIETO-BARAJAS, C. M.; VALENCIA-CANTERO, E.; MORENO-HAGELSIEB, G. et al. Isolation and characterization of genetic variability in bacteria with β -hemolytic and antifungal activity isolated from the rhizosphere of *Medicago truncatula* plants. *Genet Mol Res*, 13, n. 3, p. 4967-4975, Jul 4 2014.
- HUSSAIN, A.; MUNIR, M.; KHALID, A.; ALI, M. et al. Engineering biotic stress tolerance via CRISPR-Cas mediated genome editing in crop plants. *Plant Stress*, 14, 2024. Review.
- HUSSAIN, T.; KHAN, A. A.; MOHAMED, H. I. Potential Efficacy of Biofilm-Forming Biosurfactant *Bacillus firmus* HussainT-Lab.66 Against *Rhizoctonia solani* and Mass Spectrometry Analysis of its Metabolites. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 28, n. 1, p. 3, 2021/11/26 2021.
- IQBAL, S.; BEGUM, F.; RABAAN, A.A.; ALJELDAH, M.; AL SHAMMARI, B.R.; ALAWFI, A.; ALSHENGETI, A.; SULAIMAN, T.; KHAN, A. Classification and Multifaceted Potential of Secondary Metabolites Produced by *Bacillus subtilis* Group: A Comprehensive Review. *Molecules* 2023, 28, 927. <https://doi.org/10.3390/molecules28030927>
- ISLAM, M. S.; MAHMUD, S.; SULTANA, R.; DONG, W. Identification and in silico molecular modelling study of newly isolated *Bacillus subtilis* SI-18 strain against S9 protein of *Rhizoctonia solani*. *Arabian Journal of Chemistry*, 13, n. 12, p. 8600-8612, 2020/12/01/ 2020.

- JAISHANKAR, J.; SRIVASTAVA, P. Molecular basis of stationary phase survival and applications. *Frontiers in Microbiology*, 8, n. OCT, 2017. Review.
- JANKOSKI, P. R.; BACH, E.; BALD, D. R. Q.; PASSAGLIA, L. M. P. et al. Prospecting the Functional Potential of *Bacillus altitudinis* 1.4 Isolated from Sediment in Association with *Bradyrhizobium japonicum*. *Curr Microbiol*, 82, n. 3, p. 132, Feb 10 2025.
- JAVEED, M.T.; FAROOQ, T.; AL-HAZM, A.S.; HUSSAIN, M.D.; REHMAN, A.U. Role of *Trichoderma* as a biocontrol agent (BCA) of phytoparasitic nematodes and plant growth inducer. *Journal of Invertebrate Pathology*. V. 183, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2021.107626>.
- JIAO, X.; TAKISHITA, Y.; ZHOU, G.; SMITH, D. L. Plant Associated Rhizobacteria for Biocontrol and Plant Growth Enhancement. *Frontiers in Plant Science*, 12, 2021. Review.
- JI-ZHENG, HE., ZHENZHEN, Y., CHEN, Q. Transmission of antibiotic resistance genes in agroecosystems: an overview. *Frontiers. of Agricultural Science and Engineering*, 2020, 7(3): 329–332 <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020333>
- KARA, A.; ARICI, Ş. E. Determination of Gamma Rays Efficiency Against *Rhizoctonia solani* in Potatoes. 17, n. 1, p. 254-259, 2019.
- KASHYAP, A. S.; MANZAR, N. Molecular characterization and biocontrol potential of rhizospheric *Trichoderma* and *Bacillus* spp. from Indo-Gangetic plains with botanical applications against *Bipolaris sorokiniana* in wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 136, p. 102567, 2025/03/01/ 2025.
- KHADIRI, M.; BOUBAKER, H.; LAHMAMSI, H.; TAOUSSI, M. et al. Challenges in apple preservation: Fungicide resistance and emerging biocontrols. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 129, p. 102205, 2024/01/01/ 2024.
- KIM, J. S.; LEE, Y.; CHEON, W.; JUNGWOOK, P.; KWON, H.; BALARAJU, K.; KIM, J.; YOON, Y.J.; JEON, Y. Characterization of *Bacillus velezensis* AK-0 as a biocontrol agent against apple bitter rot caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. N. 626. *Scientific Reports*, 2021. DOI: 10.1038/s41598-020-80231-2
- KIM, S.H., VUJANOVIC, V. Relationship between mycoparasites lifestyles and biocontrol behaviors against *Fusarium* spp. and mycotoxins production. *Appl Microbiol Biotechnol* 100, 5257–5272 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7539-z>.
- KOCHHAR, N.; I.K, K.; SHRIVASTAVA, S.; GHOSH, A. et al. Perspectives on the microorganism of extreme environments and their applications. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, p. 100134, 2022/01/01/ 2022.
- KÖHL J.; KOLNAAR R.; RAVENSBERG W.J. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. V.10. *Sec. Plant Pathogen Interactions*, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845>.

- KORANGI ALLELUYA, V.; ARGÜELLES ARIAS, A.; RIBEIRO, B.; DE CONINCK, B. et al. Bacillus lipopeptide-mediated biocontrol of peanut stem rot caused by *Athelia rolfsii*. *Frontiers in Plant Science*, 14, 2023. Article.
- KRISHNA R.; KARKUTE S.G.; ANSARI W.A.; JAISWAL D.K.; VERMA J.P.; SINGH, M. Transgenic tomatoes for abiotic stress tolerance: status and way ahead. p. 1- 14, v. 3. *Biotech*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1665-0>.
- KUKRETI, A.; SIDDABASAPPA, C. B.; KRISHNAREDDY, P. M.; SUBBANNA, Y. B. et al. Impact of the tripartite interaction between rice, sheath blight and diverse crop-associated endophytes on phenotypic and biochemical responses in rice. *Heliyon*, p. e32574, 2024/06/06/ 2024.
- KUMAR, K.; PAL, G.; VERMA, A.; KUMAR, D. et al. Seed vectored bacterial endophyte *Bacillus pumilus* protect sorghum (*Sorghum bicolor* L.) seedlings from a fungal pathogen *Rhizoctonia solani*. *Biological Control*, 183, p. 105249, 2023/08/01/ 2023.
- LAHLALI, R.; EZRARI, S.; RADOUANE, N.; KENFAOUI, J. et al. Biological Control of Plant Pathogens: A Global Perspective. *Microorganisms*, v.10, n. 3, DOI: 10.3390/microorganisms10030596. 2022.
- LEE, J.; KIM, S.; JUNG, H.; KOO, B.-K. et al. Exploiting Bacterial Genera as Biocontrol Agents: Mechanisms, Interactions and Applications in Sustainable Agriculture. *Journal of Plant Biology*, 66, n. 6, p. 485-498, 2023/12/01 2023.
- LEMFACK, M. C.; NICKEL, J.; DUNKEL, M.; PREISSNER, R. et al. mVOC: a database of microbial volatiles. *Nucleic Acids Research*, 42, n. D1, p. D744-D748, 2014.
- LEMOS DE MELO S.J.; PINTO, V. P.; SEBASTIÃO E.; MORAES SANTOS CORRÊA É, CRISTOFOLETTI G. Impact of the COVID-19 Pandemic on the Scientific Production of Physical Education Researchers: A Five-Year Follow-Up Study. *Behav Sci (Basel)*. 2024 Jun 5;14(6):475. doi: 10.3390/bs14060475. PMID: 38920807; PMCID: PMC11200593.
- LIMA, L. A.; SOUSA, L. H. O.; OLIVEIRA, B. P.; ARAÚJO, M. C. S.; SANTOS, R. L.; MEDEIROS, F. A. *Bacillus subtilis* as a plant growth-promoting inoculant in soybean. 2022. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358197561_Bacillus_subtilis_como_inoculante_promotor_de_crescimento_vegetal_em_soja. Accessed on: Apr. 11, 2025.
- MAJUMDAR, A. Molecular techniques for the improvement of microbial biocontrol agents against plant pathogens. *Egypt J Biol Pest Control* 33, 103 (2023). <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00746-4>.
- MARIAN, M.; SHIMIZU, M. Improving performance of microbial biocontrol agents against plant diseases. v. 85. pag.329-336. *Journal of General Plant Pathology*, 2019. <https://doi-org.ez127.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10327-019-00866-6>.

- MARQUEZ, N.; GIACHERO, M.L.; DECLERCK, S.; DUCASSE, D.A. Macrophomina phaseolina: General Characteristics of Pathogenicity and Methods of Control. *Front. Plant Sci.*, 21 April 2021.
- MARRA, A.; DIB-HAJJ, F.; LAMB, L.; KACZMAREK, F.; SHANG, W.; BECKIUS, G.; MILICI, A.J.; MEDINA, I.; GOOTZ, T.D. Enterococcal virulence determinants may be involved in resistance to clinical therapy. 58: 54 59 – 65. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 2007.
- MAYR-HARTING, A.; HEDJES, A.J.; BERKELEY, C.W. (1972). Methods for
MERCADO, V.; OLMOS, J. Bacteriocin Production by Bacillus Species: Isolation, Characterization, and Application. *Probiotics Antimicrob Proteins*. 2022 Dec;14(6):1151-1169. doi: 10.1007/s12602-022-09966-w. Epub 2022 Jul 26. PMID: 35881232.
- MILJAKOVIĆ, D.; MARINKOVIĆ, J.; BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, S. The Significance of Bacillus spp. in Disease Suppression and Growth Promotion of Field and Vegetable Crops. *Microorganisms*, 8, n. 7, Jul 13 2020.
- MIR, M. I.; KUMAR, B. K.; GOPALAKRISHNAN, S.; VADLAMUDI, S. et al. Characterization of rhizobia isolated from leguminous plants and their impact on the growth of ICCV 2 variety of chickpea (Cicer arietinum L.). *Heliyon*, 7, n. 11, p. e08321, 2021/11/01/ 2021.
- MISHRA, J.; ARORA, N. K. Secondary metabolites of fluorescent pseudomonads in biocontrol of phytopathogens for sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*, 125, p. 35-45, 2018/04/01/ 2018.
- MITRA, D.; DE LOS SANTOS-VILLALOBOS, S.; PARRA-COTA, F. I.; MONTELONGO, A. M. G. et al. Rice (Oryza sativa L.) plant protection using dual biological control and plant growth-promoting agents: Current scenarios and future prospects. *Pedosphere*, 33, n. 2, p. 268-286, 2023/04/01/ 2023.
- MOHAMAD SHUKRI, I. A.; MOHD YAHYA, A. R.; MOHD, M. H.; MD NOH, N. A. Rhamnolipids as an antifungal agent against Rhizoctonia solani USM-PD2 causing sheath blight disease of paddy. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 64, p. 103511, 2025/02/01/ 2025.
- MONGKOLTHANARUK, W. Classification of Bacillus beneficial substances related to plants, humans and animals. *J Microbiol Biotechnol*, 22, n. 12, p. 1597-1604, Dec 2012.
- MOSELA, M.; ANDRADE, G.; MASSUCATO, L. R.; DE ARAÚJO ALMEIDA, S. R. et al. Bacillus velezensis strain Ag75 as a new multifunctional agent for biocontrol, phosphate solubilization and growth promotion in maize and soybean crops. *Sci Rep*, 12, n. 1, p. 15284, Sep 10 2022.
- MUNIROH, M. S.; NUSAIBAH, S. A.; VADAMALAI, G.; SIDDIQUE, Y. Proficiency of biocontrol agents as plant growth promoters and hydrolytic enzyme producers in Ganoderma boninense infected oil palm seedlings. *Current Plant Biology*, 20, p. 100116, 2019/12/01/ 2019.

- MURAI, K.; NONOYAMA, T.; SAITO, T.; KATO, K. Enzyme structure and catalytic properties affected by groups of mesoporous sílica. *Catalysis Science and Technology*. 2012, 2(2):310-315
- NAKATSUJI, T.; GALLO, R. L. Antimicrobial peptides: old molecules with new ideas. *Journal of investigative dermatology*, 132, n. 3, p. 887-895, 2012.
- NAKKEERAN, S.; VINODKUMAR, S.; SENTHILRAJA, C.; RENUKADEVI, P. Antimicrobial peptides of *Bacillus* species: biosynthesis, mode of action and their role in plant disease management. In *Microbial Antagonists: Their Role in Biological Control of Plant Diseases*, 2019.
- NISHIOKA, N. M.; KOYAMA, T.; SUGA, H. et al. Biocontrol potential of *Ralstonia* sp. TCR112 and *Mitsuaria* sp. TWR114 against tomato bacterial wilt. *Applied Soil Ecology*, 128, p. 71-80, 2018/07/01/ 2018.
- NOH, J. S.; HWANG, S. H.; MAUNG, C. E. H.; CHO, J.-Y. et al. Enhanced control efficacy of *Bacillus subtilis* NM4 via integration of chlorothalonil on potato early blight caused by *Alternaria solani*. *Microbial Pathogenesis*, 190, p. 106604, 2024/05/01/ 2024.
- NOORHOSSEINI, S. A.; JOKAR, N. K.; DAMALAS, C. A. Improving Seed Germination and Early Growth of Garden Cress (*Lepidium sativum*) and Basil (*Ocimum basilicum*) with Hydro-priming. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37, n. 1, p. 323-334, 2018/03/01 2018.
- OLIVER, C., HERNÁNDEZ, I., CAMINAL, M., LARA, J.M., FERNÁNDEZ, C. *Pseudomonas putida* strain B2017 produced as technical grade active ingredient controls fungal and bacterial crop diseases. v. 29. *Biocontrol Science and Technology*, 2019.
- OLMEDO, C.; KOCH, A.; SARMIENTO, B.; IZQUIERDO, A. Antifungal potential of biosurfactants produced by strains of *Bacillus* spp. (Bacillales: Bacillaceae) selected by molecular screening. *Revista de Biología Tropical*, 70, n. 1, p. 636–646, e49716, 01/24 2022.
- PAGE, M.J.; MCKENZIE, J.E.; BOSSUYT, P.M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T.C.; MULROW, C.D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J.M.; MOHER, D. Updating guidance for reporting systematic reviews: Development of the PRISMA 2020 statement. *J Clin Epidemiol*. 2021; 134:103–12. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. jclin epi. 2021. 02. 003](https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003).
- PALMIERI D, IANIRI G, DEL GROSSO C, BARONE G, DE CURTIS F, CASTORIA R, LIMA G. Advances and Perspectives in the Use of Biocontrol Agents against Fungal Plant Diseases. *Horticulturae*. 2022; 8(7):577. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070577>.
- PANAHI, B.; HASSANI, M.; HOSSEINZAEH GHARAJEH, N. Integrative analysis of RNA-Seq data and machine learning approaches to identify Biomarkers for *Rhizoctonia solani* resistance in sugar beet. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 41, p. 101920, 2025/03/01/ 2025.

- PANE, C.; ZACCARDELLI, M. Evaluation of *Bacillus* strains isolated from solanaceous phylloplane for biocontrol of *Alternaria* early blight of tomato. *Biological Control*, 84, p. 11-18, 2015/05/01/ 2015.
- PASCALE, A.; VINALE, F.; MANGANIELLO, G.; NIGRO, M. et al. *Trichoderma* and its secondary metabolites improve yield and quality of grapes. *Crop Protection*, 92, p. 176-181, 2017/02/01/ 2017.
- PENHA, R. O.; VANDENBERGHE, L. P. S.; FAULDS, C.; SOCCOL, V. T. et al. *Bacillus* lipopeptides as powerful pest control agents for a more sustainable and healthy agriculture: recent studies and innovations. *Planta*, 251, n. 3, p. 70, 2020/02/21 2020.
- PINEDA-SUAZO, D.; MONTERO-VARGAS, J. M.; ORDAZ-ORTIZ, J. J.; VÁZQUEZ-MARRUFO, G. Growth Inhibition of Phytopathogenic Fungi and Oomycetes by Basidiomycete *Irpex lacteus* and Identification of its Antimicrobial Extracellular Metabolites. *Polish Journal of Microbiology*, 70, n. 1, p. 131-136, 2021.
- PRASAD, B.; SHARMA, D.; KUMAR, P.; CHANDRA DUBEY, R. Biocontrol potential of *Bacillus* spp. for resilient and sustainable agricultural systems. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 128, p. 102173, 2023/11/01/ 2023.
- RAHMAN, F. U.; ZHU, Q.; WU, Z.; LI, X. et al. Current insights into the biocontrol and biotechnological approaches for postharvest disease management of *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, 216, p. 113055, 2024/10/01/ 2024.
- RAJ, A.; DUBEY, A.; MALLA, M. A.; KUMAR, A. Pesticide pestilence: Global scenario and recent advances in detection and degradation methods. *Journal of Environmental Management*, 338, p. 117680, 2023/07/15/ 2023.
- RAMYASREE, B.; JOSE, P. A.; DIVAKAR, K. Fermentative Production of Secondary Metabolites from Bioengineered Fungal Species and Their Applications. In: HESHAM, A. E.-L.; UPADHYAY, R. S., et al (Ed.). *Fungal Biotechnology and Bioengineering*. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 255-279.
- RASHAD, Y. M.; MOUSSA, T. A. A. Biocontrol Agents for Fungal Plant Diseases Management. In: EL-WAKEIL, N.; SALEH, M., et al (Ed.). *Cottage Industry of Biocontrol Agents and Their Applications: Practical Aspects to Deal Biologically with Pests and Stresses Facing Strategic Crops*. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 337-363.
- RAZA, A.; HASSAN, A.; AKRAM, W.; ANJUM, T. et al. Seed coating with the synthetic consortium of beneficial *Bacillus* microbes improves seedling growth and manages *Fusarium* wilt disease. *Scientia Horticulturae*, 325, p. 112645, 2024/02/01/ 2024.
- REIS, V.M.; ESTRADA-DE LOS SANTOS, P.; TENORIO-SALGADO, S.; VOGEL, J.; STOFFELS, M.; GUYON, S.; MAVINGUI, P.; BALDANI, V.L.D.; SCHMID, M.; RISEH, R.S.; VATANKHAH, M.; HASSANISAADI, M.; BARKA, E.A. Unveiling the Role of Hydrolytic Enzymes from Soil Biocontrol Bacteria in Sustainable

Phytopathogen Management. *Front. Biosci. (Landmark Ed)* 2024, 29(3), 105.
<https://doi.org/10.31083/j.fbl2903105>

RENGA SUSHMA, S.; KOLAR, A. B.; AZEEM TAJ, S.; BEEMA JAINAB, S. I. et al. Identification of antimicrobial compounds from the plant growth promoting bacteria (PGPR) tested against Fusarium wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *Lycopersici*. *Journal of King Saud University - Science*, 36, n. 7, p. 103227, 2024/08/01/ 2024.

RHOUMA, A.; HAJJI-HEDFI, L.; BOUQELLAH, N. A.; KHAIRE, P. B. et al. Uniting the Role of Entomopathogenic Fungi against *Rhizoctonia solani* JG Kühn, the Causal Agent of Cucumber Damping-Off and Root Rot Diseases. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 93, n. 11, p. 2857-2881, 2024/11/30/ 2024.

RISEH, R. S; VATANKHAH, M.; HASSANISAADI, M.; BARKA, E. A. Unveiling the Role of Hydrolytic Enzymes from Soil Biocontrol Bacteria in Sustainable Phytopathogen Management. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 29, n. 3, p. 105, Mar 15 2024.

RODRÍGUEZ-ROJAS, A.; ROLFF, J. Antimicrobial activity of cationic antimicrobial peptides against stationary phase bacteria. *Front Microbiol*, 13, p. 1029084, 2022.

ROSELLÓ, G., BONATERRA, A., FRANCISCO, J.; MONTESINOS, L.; BADOSA, E.; MONTESINOS, E. Biological control of fire blight of apple and pear with antagonistic *Lactobacillus plantarum*. v. 137. *European Journal of Plant Pathology*, 2013. <https://doi-org.ez127.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10658-013-0275-7>.

SAMARAS, A.; KARAOGLANI, G.S.; TZELEPIS, G. Insights into multitrophic interactions between the biocontrol agent *Bacillus subtilis* MBI 600, the pathogen *Botrytis cinerea* and its host plant. v.248, *Microbiological Research*, 2021. DOI: 10.1016/j.micres.2021.126752.

SANTOS, J. P. dos et al. Solubilização de fosfato por isolados de *Bacillus subtilis* e sua relação com a promoção de crescimento vegetal. *Diversitas Journal*, Santana do Ipanema/AL, v. 7, n. 1, p. 1–10, 2022. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/download/2071/1621/10774. Acesso em: 12 abr. 2025.

SARE, A.R.; JIJAKLI, M.H.; MASSART, S. Microbial ecology to support integrative efficacy improvement of biocontrol agents for postharvest diseases management. V. 179. *Postharvest Biology and Technology*, 2021. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111572.

SARETHY, I.P., SAHARAN, A. Genomics, proteomics and transcriptomics in the biological control of plant pathogens: a review. *Indian Phytopathology* 74, 3–12 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42360-020-00302-2>.

SARWAR, A.; BRADER, G.; CORRETTO, E.; ALETI, G. et al. Qualitative analysis of biosurfactants from *Bacillus* species exhibiting antifungal activity. *PLoS One*, 13, n. 6, p. e0198107, 2018.

- SEGARAN, G.; SATHIAVELU, M. Fungal endophytes: A potent biocontrol agent and a bioactive metabolites reservoir. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, p. 101284, 2019/09/01/ 2019.
- SENAPATI, M.; TIWARI, A.; SHARMA, N.; CHANDRA, P. et al. *Rhizoctonia solani* Kühn Pathophysiology: Status and Prospects of Sheath Blight Disease Management in Rice. *Frontiers in Plant Science*, 13, 2022. Review.
- SHAFI, J.; TIAN, H.; JI, M. *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 31, n. 3, p. 446-459, 2017. Review.
- SHAHID, M.; HAMEED, S.; TARIQ, M.; ZAFAR, M.; ALI, A.; AHMAD, N. Characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria for enhanced sunflower growth and yield-attributing traits. 65, 1525–1536. *Ann. Microbiol*, 2015. DOI: 10.1007/s13213-014-0991-z.
- SHASTRI, B.; KUMAR, R.; LAL, R. J. Isolation and Identification of antifungal metabolite producing endophytic *Bacillus subtilis* (S17) and its in vitro effect on *Colletotrichum falcatum* causing red rot in sugarcane. *Vegetos*, 33, n. 3, p. 493-503, 2020/09/01 2020.
- SIAHMOSHTEH, F.; SICILIANO, I.; BANANI, H.; HAMIDI-ESFAHANI, Z. et al. Efficacy of *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* in the control of *Aspergillus parasiticus* growth and aflatoxins production on pistachio. *International Journal of Food Microbiology*, 254, p. 47-53, 2017/08/02/ 2017.
- SIKORA, R. A. Management of the Antagonistic Potential in Agricultural Ecosystems for the Biological Control of Plant Parasitic Nematodes. *Annual Review of Phytopathology*, 1992.
- SILVA FILHO, G.N.; VIDOR, C. Solubilização de fostatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*. 311-319 p. 2000.
- SILVA, F.H.K.P.; ANTUNES, L.F.S.; VAZ, A.F.S.; SILVA, M.S.R.A. Pesticides in Brazil: an understanding of the current scenario of use and the properties of the soil that act on the dynamics and retention of these molecules. V.11. *Research Society and Development*, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31614>.
- SILVA, L. M. da et al. Efeitos da inoculação de *Bacillus* solubilizadores de fosfato no crescimento de culturas agrícolas. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1173848/1/Efeitos-da-inoculacao-de-bacillus-solubilizadores-de-fosfato.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- SINGH, A. K.; KUMAR, M.; AHUJA, A.; VINAY, B. K. et al. Chapter 6 - Entomopathogenic nematodes: a sustainable option for insect pest management. In: RAKSHIT, A.; MEENA, V. S., et al (Ed.). *Biopesticides*: Woodhead Publishing, 2022. p. 73-92.

- SINGH, G.; TIWARI, A.; CHOUDHIR, G.; KUMAR, A. et al. Deciphering the role of *Trichoderma* sp. bioactives in combating the wilt causing cell wall degrading enzyme polygalacturonase produced by *Fusarium oxysporum*: An in-silico approach. *Microbial Pathogenesis*, 168, p. 105610, 2022/07/01/ 2022.
- SINGH, J.; FAULL, J. L. Antagonism and biological control. In: *Biocontrol of plant diseases*. CRC Press, 2020. p. 167-177.
- SOUZA, D. A.; MORAES, C. R.; SILVA, L. M.; FERREIRA, A. L. Potential of *Bacillus* spp. in plant growth promotion and phytopathogen biocontrol: an updated review. *Diversitas Journal*, v. 8, n. 2, p. 1–13, 2023. Available at: https://diversitas.emnuvens.com.br/diversitas_journal/article/view/2071. Accessed on: Apr. 11, 2025.
- SOUZA, M. V.; MACHADO, J. C.; PHENING, L. H.; KAWASAKI, V. H.; ARAÚJO, D. V.; SILVA, A. A.; MARTINI NETO, A. Métodos de inoculação e efeitos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* em sementes de algodoeiro. *Tropical plant pathology*. v. 33, n. 1, p. 041-048, 2008.
- STENBERG, J.A.; , SUNDH ,I.; BECHER , P.G.; BJORKMAN ,C.; DUBEY , M.; EGAN , P.A.; FRIBERG , H.; GIL, J.F.; , JENSEN , D.F.; JONSSON , M.; KARLSSON , M.; KHALIL , S.; NINKOVIC ,V.; REHERMANN , G.; VETUKURI, R.R.; VIKETOFT, M. When is biological control? A framework of definitions, mechanisms and classifications. *Journal of Pest Science*, 2021. DOI: 10.1007/s10340-021-01354-7.
- STEYAERT, J.; HICKS, E.; KANDULA, J.; KANDULA, D. et al. Methods for the Evaluation of the Bioactivity and Biocontrol Potential of Species of *Trichoderma*. *Methods Mol Biol*, 1477, p. 23-35, 2016. studying bacteriocins. In: Norris JB, Ribbons D (eds) *Methods in microbiology*, 7: 315–412.
- SWAIN, H.; ADAK, T.; MUKHERJEE, A. K.; MUKHERJEE, P. K. et al. Novel *Trichoderma* strains isolated from tree barks as potential biocontrol agents and biofertilizers for direct seeded rice. *Microbiological Research*, 214, p. 83-90, 2018/09/01/ 2018.
- TAHERI, E.; TARIGHI, S.; TAHERI,P. Characterization of root endophytic *Paenibacillus polymyxa* isolates with biocontrol activity against *Xanthomonas translucens* and *Fusarium graminearum*. V.174. *Biological Control*, 2022. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2022.105031.
- TAMEHIRO, N.; OKAMOTO-HOSOYA, Y.; OKAMOTO, S.; UBUKATA, M. et al. Bacilysocin, a Novel Phospholipid Antibiotic Produced by *Bacillus subtilis* 168. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 46, n. 2, p. 315-320, 2002.
- TAO, H.; LI, X.; HUO, H.; CAI, Y. et al. *Bacillus velezensis* Y6, a Potential and Efficient Biocontrol Agent in Control of Rice Sheath Blight Caused by *Rhizoctonia solani*. *Microorganisms*, v.12, n. 8, DOI: 10.3390/microorganisms12081694.

- TARIQ, M.; KHAN, A.; ASIF, M.; KHAN, F. et al. Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, p. 507-524, 2020. Review.
- TARIQJAVEED, M.; FAROOQ, T.; AL-HAZMI, A. S.; HUSSAIN, M. D. et al. Role of *Trichoderma* as a biocontrol agent (BCA) of phytoparasitic nematodes and plant growth inducer. *Journal of Invertebrate Pathology*, 183, p. 107626, 2021/07/01/ 2021.
- THUY, B. T. P.; MY, T. T. A.; HAI, N. T. T.; LOAN, H. T. P. et al. A molecular docking simulation study on potent inhibitors against *Rhizoctonia solani* and *Magnaporthe oryzae* in rice: silver-tetrylene and bis-silver-tetrylene complexes vs. validamycin and tricyclazole pesticides. *Structural Chemistry*, 32, n. 1, p. 135-148, 2021/02/01 2021.
- TOMAR, P.; THAKUR, N.; JHAMTA, S.; CHOWDHURY, S. et al. Bacterial biopesticides: Biodiversity, role in pest management and beneficial impact on agricultural and environmental sustainability. *Heliyon*, 10, n. 11, p. e31550, 2024/06/15/ 2024.
- TORRACCHI C, J E.; MOREL, M.A.; TAPIA-VÁZQUEZ, I.; CASTRO-SOWINSKI, S.; BATISTA-GARCÍA, R.A.; YARZÁBAL R., ANDRÉS, L. Fighting plant pathogens with cold-active microorganisms: biopesticide development and agriculture intensification in cold climates. V. 104. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2020. DOI: 10.1007/s00253-020-10812-8.
- TRAN, C. D.; SALHOFER, S. P. Analysis of recycling structures for e-waste in Vietnam. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20, n. 1, p. 110-126, 2018/01/01 2018.
- TYAGI, A.; LAMA TAMANG, T.; KASHTOH, H.; MIR, R.A.; MIR, Z.A.; MANZOOR, S.; MANZAR, N.; GANI, G.; VISHWAKARMA, S.K.; ALMALKI, M.A.; et al. A Review on Biocontrol Agents as Sustainable Approach for Crop Disease Management: Applications, Production, and Future Perspectives. *Horticulturae* 2024, 10, 805. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080805>.
- VERMA, S. K.; KINGSLEY, K.; IRIZARRY, I.; BERGEN, M. et al. Seed-vectored endophytic bacteria modulate development of rice seedlings. *Journal of Applied Microbiology*, 122, n. 6, p. 1680-1691, 2017.
- VINALE, F.; STRAKOWSKA, J.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. et al. Cremenolide, a new antifungal, 10-member lactone from *Trichoderma cremeum* with plant growth promotion activity. *Natural Product Research*, 30, n. 22, p. 2575-2581, 2016/01/01/ 2016.
- WALLACE, A. K. Treating the untreatable: precision microbes for crop protection. *Trends in Biotechnology*, 41, n. 8, p. 1096-1097, 2023/08/01/ 2023.
- WANG, L.; HUANG, J.; CHEN, S.; SU, X. et al. Endogenous cell wall degrading enzyme LytD is important for the biocontrol activity of *Bacillus subtilis*. *Front Plant Sci*, 15, p. 1381018, 2024.

- WANG, L.-Y.; XIE, Y.-S.; CUI, Y.-Y.; XU, J. et al. Conjunctively screening of biocontrol agents (BCAs) against fusarium root rot and fusarium head blight caused by *Fusarium graminearum*. *Microbiological Research*, 177, p. 34-42, 2015/08/01/ 2015.
- WANG, Z.; ZHANG, W.; MA, Q.; LIU, L. Antifungal activity of *Bacillus subtilis* lipopeptides against *Fusarium oxysporum* and their mechanism of action. *Journal of Applied Microbiology*, v. 129, n. 4, p. 857–868, 2020.
- WASH, P.; BATOOL, A.; MULK, S.; NAZIR, S. et al. Prevalence of Antimicrobial Resistance and Respective Genes among *Bacillus* spp., a Versatile Bio-Fungicide. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v.19, n. 22, 2022. DOI: 10.3390/ijerph192214997.
- WON, S.-J.; MOON, J.-H.; AJUNA, H. B.; CHOI, S.-I. et al. Biological Control of Leaf Blight Disease Caused by *Pestalotiopsis maculans* and Growth Promotion of *Quercus acutissima* Carruth Container Seedlings Using *Bacillus velezensis* CE 100. *International Journal of Molecular Sciences*, v.22, n. 20, DOI: 10.3390/ijms222011296.
- YAHAYA, S.M.; MAHMUD, A.A.; ABDULLAHI, M.; HARUNA, A. Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review. *Pedosphere*, Volume 33, Issue 3, Pages 385-406, 2023.
- YUN, J.-Y.; KIM, H.-S.; MOON, J.-H.; WON, S.-J. et al. Antifungal and Plant-Growth Promotion Effects of *Bacillus velezensis* When Applied to Coastal to Pine (*Pinus thunbergii* Parl.) Seedlings. *Forests*, v.15, n. 1, DOI: 10.3390/f15010062.
- ZALEWSKA, M.; BŁAŻEJEWSKA, A.; CZAPKO, A.; POPOWSKA, M. Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Animal Manure - Consequences of Its Application in Agriculture. *Front Microbiol*, 12, p. 610656, 2021.
- ZEILINGER, S.; GRUBER, S.; BANSAL, R.; MUKHERJEE, P. K. Secondary metabolism in *Trichoderma* – Chemistry meets genomics. *Fungal Biology Reviews*, 30, n. 2, p. 74-90, 2016/06/01/ 2016.
- ZHANG, C.; ALI, R.A.; WEI, H.Y.; WANG, R.; HOU, J.M.; LIU, T. Rapid, mass production of the biopesticide *Trichoderma* Brev T069 from cassava peels using the newly established solid-state fermentation bioreactor system. v.313. *Environmental Management Magazine*, 2022.
- ZHANG, H.; APALIYA, M. T.; MAHUNU, G. K.; CHEN, L. et al. Control of ochratoxin A-producing fungi in grape berry by microbial antagonists: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 51, p. 88-97, 2016/05/01/ 2016.
- ZHANG, H.; MAHUNU, G. K.; CASTORIA, R.; YANG, Q. et al. Recent developments in the enhancement of some postharvest biocontrol agents with unconventional chemicals compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 78, p. 180-187, 2018/08/01/ 2018.

- ZHAO, G.; ABLETT, G. R.; ANDERSON, T. R.; RAJCAN, I. et al. Inheritance and genetic mapping of resistance to rhizoctonia root and hypocotyl rot in soybean. *Crop Science*, 45, n. 4, p. 1441-1447, 2005. Article.
- ZHAO, X.; HENDRIKS, M.; DELEU, E.; SPANOGHE, P. et al. Prevalence, attachment ability and strength of the biological control agent *Bacillus thuringiensis* on tomato. *Food Microbiology*, 112, p. 104235, 2023/06/01/ 2023.
- ZHOU, D.; WANG, X.; ANJAGO, W. M.; LI, J. et al. Borrelidin-producing and root-colonizing *Streptomyces rochei* is a potent biopesticide for two soil-borne oomycete-caused plant diseases. *Biological Control*, 188, p. 105411, 2024/01/01/ 2024.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO E
DOUTORADO
**TECNOLOGIA
AMBIENTAL**



Av. Independência, 2293 - Universitário
Santa Cruz do Sul - RS
CEP 96815-900

(51) 3717-7300
www.unisc.br