

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CONSERVAÇÃO E
MANEJO DE RECURSOS NATURAIS – NÍVEL MESTRADO

LUANA DE SOUZA

Bioprospecção e Avaliação de Rizobactérias com Potencial de Promoção de
Crescimento Vegetal para a Cultura do Feijoeiro

CASCADEL-PR

2025

LUANA DE SOUZA

Bioprospecção e Avaliação de Rizobactérias com Potencial de Promoção de
Crescimento Vegetal para a Cultura do Feijoeiro

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Conservação e Manejo de Recursos Naturais – Nível Mestrado, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Orientador: Dra Fabiana Gisele da Silva Pinto

Área de Concentração: Ciências Ambientais

CASCADEL-PR

2025

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

de Souza, Luana
Bioprospecção e Avaliação de Rizobactérias com Potencial
de Promoção de Crescimento Vegetal para a Cultura do
Feijoeiro. / Luana de Souza; orientadora Fabiana Gisele da
Silva Pinto. -- Cascavel, 2025.
99 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) --
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências
Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em
Conservação e Manejo de Recursos Naturais, 2025.

1. Microbiologia e Biotecnologia . 2. Solos. 3. Bactérias
Promotoras de Crescimento de Plantas. 4. Sustentabilidade. I.
da Silva Pinto, Fabiana Gisele, orient. II. Título.

LUANA DE SOUZA

Isolamento e Avaliação de Rizobactérias com Potencial de Fixação de Nitrogênio e Solubilização de Nutrientes para a Agricultura Sustentável de Feijoeiro.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Conservação e Manejo de Recursos Naturais em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Conservação e Manejo de Recursos Naturais, área de concentração Ciências Ambientais, linha de pesquisa Monitoramento e manejo de ambientes antropizados, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **FABIANA GISELE DA SILVA PINTO**
Data: 19/02/2025 13:50:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador(a) - Fabiana Gisele da Silva Pinto
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
(UNIOESTE)

Documento assinado digitalmente
 **RENATA MUSSOI GIACOMIN**
Data: 19/02/2025 14:06:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Renata Mussoi Giacomini
Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

Documento assinado digitalmente
 **ODAIR ALBERTON**
Data: 19/02/2025 14:53:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Odair Alberton
Universidade Paranaense - UNIPAR - Umuarama (UNIPAR)

Cascavel, 18 de fevereiro de 2025

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pela oportunidade de vivenciar novas experiências em cada fase da vida. Além disso, pelo refúgio nos momentos difíceis ao longo do percurso.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e a todos os professores da pós-graduação em Conservação e Manejo de Recursos Naturais – PPRN, pelos ensinamentos durante esses dois anos. À CAPES, pelo financiamento da pesquisa.

Agradeço à minha orientadora, Dra. Fabiana, por me aceitar na equipe do laboratório, apesar da minha inexperiência na área de microbiologia, e por todo o conhecimento e apoio durante essa trajetória. À banca examinadora, Dra. Renata e Dr. Odair, por todas as contribuições a este trabalho.

Aos meus pais, Neiva Zauza de Souza e Valdemar de Souza, que desde sempre incentivaram minha formação profissional e não mediram esforços para que eu alcançasse meus objetivos. Obrigada pelo amor e afeto de todos esses anos, o combustível incondicional que me permitiu não desistir e enfrentar meus medos.

À minha irmã, Luciana de Souza, uma inspiração desde a infância, pela persistência em seguir seus sonhos. Agradeço pelo incentivo e amor de sempre. Ao meu namorado, Célio Lucas Panazzolo, pelo amor, apoio e auxílio durante a trajetória do mestrado. E a toda a minha família, que esteve presente.

Aos meus amigos e à equipe do Laboratório de Microbiologia e Biotecnologia (LAMIBI), que me auxiliaram durante a execução da pesquisa, desde a coleta do solo até a realização dos testes em laboratório.

A todos, o meu muito obrigada!

SUMÁRIO

Resumo Geral.....	09
Abstract.....	10
Introdução	11
Objetivo Geral.....	13
Objetivo específico.....	13
1.0 Capítulo 1. Revisão Bibliográfica.....	14
1.1 <i>Importância econômica da cultura do feijoeiro</i>	14
1.2 <i>Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCPs)</i>	15
1.3 <i>Fixação Biológica do Nitrogênio</i>	17
1.4 <i>Solubilização de Potássio e Fosfato</i>	19
1.5 <i>Produção de Ácido Indol-3-acético</i>	21
1.6 <i>Produção de Sideróforos</i>	22
1.7 <i>Importância da prospecção de rizobactérias em diferentes tipos de solos</i>	23
1.8 <i>Bioinsumos</i>	24
2.0 Considerações Finais.....	25
3.0 Referências.....	26
2.0 Capítulo 2. Rizobactérias Promissoras para Fixação de Nitrogênio e Solubilização de Nutrientes: Uma Solução Sustentável para a Agricultura do Feijoeiro.....	36
Resumo.....	36
1.0 Introdução.....	39
2.0 Material e Métodos.....	39
2.1 <i>Local de coleta, amostragem e isolamento de rizobactérias</i>	39
2.2 <i>Análise química do solo</i>	39
2.3 <i>Avaliação de bactérias fixadoras de nitrogênio</i>	40
2.4 <i>Avaliação de bactérias solubilizadoras de fosfato tricálcico</i>	40
2.5 <i>Avaliação de bactérias solubilizadoras de potássio</i>	40
2.6 <i>Avaliação da Produção de Ácido Indol-3-acético (AIA) com ausência e presença de suplementação de L-triptofano</i>	41
2.7 <i>Produção de Sideróforos</i>	41
2.8 <i>Identificação das bactérias</i>	42
2.8.1 <i>Extração do DNA genômico</i>	42

2.8.2 Amplificação por PCR e Sequenciamento do DNAr 16S.....	42
2.8.3 Edição das Sequências.....	42
2.8.4 Identificação Genotípica das cepas.....	43
2.8.5 Identificação filogenética das cepas.....	43
2.9 Ensaio de germinação de sementes de feijão com inoculação de <i>Bacillus</i> ..	43
3.0 Análise Estatística.....	44
4.0 Resultados e Discussão.....	44
5.0 Conclusão.....	57
6.0 Referências Bibliográficas.....	58
Material Suplementar.....	65
Anexo I: Normas da Revista: Applied Soil Ecology.....	73

Resumo Geral

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande relevância social e econômica no Brasil, porém enfrenta desafios como a baixa fertilidade do solo, que leva ao aumento do uso de fertilizantes nitrogenados, resultando em impactos ambientais negativos. Como alternativa sustentável, destaca-se a utilização de microrganismos benéficos, como rizóbios e bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCPs), que fixam nitrogênio atmosférico, solubilizam nutrientes e produzem fitohormônios, auxiliando no desenvolvimento das plantas e na resistência a estresses. Este estudo focou na prospecção e avaliação de rizobactérias nativas de solos do Paraná, incluindo o Parque Estadual do Guartelá (PEG), Parque Nacional do Iguaçu (PNI) e Cafelândia (CAF), visando sua aplicação no cultivo de feijão para práticas agrícolas mais sustentáveis. Foram isoladas 90 bactérias, com 65,56% demonstrando capacidade de fixação biológica de nitrogênio e 6,67% solubilizando fósforo. Destaques incluem os isolados *Bacillus* sp. PNI99 e *Bacillus safensis* CAF83, que apresentaram eficiência na solubilização de potássio, fixação biológica de nitrogênio e produção de sideróforos. O *B. safensis* CAF83 também promoveu aumento significativo no peso seco das raízes de feijão durante a germinação. Os resultados indicam que essas rizobactérias, especialmente *B. safensis* CAF83, apresentam elevado potencial para desenvolvimento de bioinoculantes, podendo reduzir a dependência de fertilizantes químicos e promover o crescimento sustentável do feijão, contribuindo para a saúde do solo e a redução dos impactos ambientais da agricultura.

Palavras-chave: *Bacillus* sp.; Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas; Inoculantes biológicos; *Phaseolus vulgaris* L.; Sustentabilidade.

Abstract: Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a crop of significant social and economic importance in Brazil. However, its production faces challenges such as low soil fertility and excessive use of nitrogen fertilizers, which generate negative environmental impacts. As a sustainable alternative, the use of beneficial microorganisms, such as rhizobia and plant growth-promoting bacteria (PGPB), stands out. These microorganisms fix atmospheric nitrogen, solubilize nutrients, and produce phytohormones, aiding plant development and stress resistance. This study focused on the prospection and characterization of native rhizobacteria from soils in Paraná (Guartelá State Park, Iguazu National Park and Cafelândia), aiming at their application in bean cultivation for more sustainable agricultural practices. A total of 90 bacteria were isolated, with 65.56% demonstrating biological nitrogen fixation (BNF) capacity and 6.67% solubilizing phosphorus. Notable isolates include PNI99 (*Bacillus* sp.) and CAF83 (*Bacillus safensis*), which exhibited efficiency in potassium solubilization, BNF, and siderophore production. *B. safensis* also significantly increased the dry root weight of bean seedlings during germination. The results indicate that these rhizobacteria, particularly *B. safensis*, have high potential as bioinoculants, capable of reducing reliance on chemical fertilizers and promoting sustainable bean growth, thereby contributing to soil health and the reduction of agriculture's environmental impacts.

Palavras Chave: *Bacillus* sp; Biological Inoculants; *Phaseolus vulgaris* L.; Plant Growth Promoting Bacteria; Sustainability.

Introdução

O feijão comum, *Phaseolus vulgaris* L., é uma leguminosa amplamente produzida no Brasil, com uma média anual de cerca de 3,4 milhões de toneladas (CONAB, 2024). É uma espécie representativa socialmente, pois é um dos alimentos mais consumidos, devido sua elevada fonte de proteínas, carboidratos, ferro, zinco, proteínas, vitaminas e também pelo baixo custo para aquisição (Yeken *et al.*, 2018).

O cultivo do feijão comum no Brasil é na sua grande maioria produzida por pequenos agricultores (Araújo *et al.*, 2025), sendo sua principal fonte de subsistência. Além de ser uma produção em baixa escala, sofre também com os impactos de solos com baixa fertilidade, principalmente em nitrogênio e fósforo. A utilização de adubos nitrogenados, pode contribuir aumentando a produtividade do feijoeiro, já que disponibiliza esses nutrientes, porém pode ocasionar a contaminação de recursos naturais, desequilibrando a saúde do solo, a qualidade da água e aumentando os gases de efeito estufa (Agbodjato e Babalola, 2024).

Diante dessas circunstâncias, a busca por alternativas mais sustentáveis na agricultura torna-se urgente, devido ao uso excessivo desses fertilizantes nitrogenados, tornando imperativo explorar métodos agrícolas que promovam a produtividade de forma ecologicamente equilibrada e socialmente responsável. Sendo assim, medidas mais eficientes e menos agressivas ao meio ambiente, como por exemplo, o uso de microrganismos que beneficiem o desenvolvimento das plantas (Khan *et al.*, 2020; Rossetim *et al.*, 2025), são práticas que devem ser empregadas.

Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) são microrganismos que vivem livremente no solo ou colonizam a rizosfera, e estabelecem uma relação positiva com plantas. Em função disso, podem estimular a produção de fitohormônios, disponibilizar nutrientes e auxiliar no aumento de tolerância aos estresses bióticos e abióticos (Ramakrishna *et al.*, 2019). Outra interação benéfica entre planta-bactéria, é que essa simbiose pode promover o crescimento de plantas através do biocontrole de doenças, com a produção de metabólitos microbianos que atuam contra os fitopatógenos (Bibi *et al.*, 2023).

Dentre os fitohormônios produzidos por bactérias que regulam o desenvolvimento vegetal, estão as auxinas em especial o ácido indol-3-acético, que atua no enraizamento e alongamento celular das plantas (Poveda *et al.*, 2021), a produção de sideróforos que são substâncias que se ligam ao hidróxido de ferro fornecendo esse micronutriente para a planta além de diminuir sua disponibilidade no ambiente para fitopatógenos (Lopes *et al.*, 2021), podem também disponibilizar fósforo e potássio que estão indisponíveis para absorção (Lyu *et al.*, 2016) e fixar nitrogênio atmosférico (Moretti *et al.*, 2020).

Dessa forma, a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, como a inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) e a utilização eficaz de microrganismos benéficos, mostra-se essencial para enfrentar os desafios da produção de feijão no Brasil, visto que é uma planta negligenciada, com poucos inoculantes registrados (Andreatta *et al.*, 2024) e com baixa eficiência em comparação com a soja.

Um exemplo dessa abordagem é a simbiose entre o feijoeiro e bactérias comumente chamadas de rizóbios, que têm a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico (N₂) e disponibilizá-lo para a planta na forma amoniacal (Lindström e Mousavi, 2020). As bactérias conhecidas como mais eficientes na interação com o feijoeiro pertencem ao gênero *Rhizobium* como *Rhizobium tropici*, *R. etli*, *R. freirei*, *R. phaseoli* (Martinez-Romero *et al.*, 1991; Segovia *et al.*, 1993; Dall'Agnol *et al.*, 2013; Mercante *et al.*, 2017). Além disso, o feijoeiro é capaz de interagir com bactérias de outros gêneros, tais como *Bradyrhizobium* e *Paraburkholderia*, em níveis variáveis de eficiência (Michiels *et al.*, 1998; Dall'Agnol *et al.*, 2017), e com o gênero *Bacillus* (Korir *et al.*, 2017; Arslan e Bulut, 2023).

É extremamente importante pesquisar novas estirpes de rizóbios nativos, pois estes possuem uma alta capacidade de competitividade com outros microrganismos, inclusive com as estirpes inoculadas, gerando resultados variáveis na inoculação do feijoeiro. Além disso, os rizóbios nativos são uma fonte de recursos genéticos para isolamento de bactérias adaptadas a diversas condições ambientais, tais como tolerância a solos ácidos, estresse hídrico e resistência a altas temperaturas (Denton *et al.*, 2003; Wekesa *et al.*, 2023), o que se torna viável para uma agricultura que priorize a produção de alimentos com mínimo impacto ambiental (Barzallo *et al.*, 2025).

Portanto, o objetivo desse trabalho é realizar a prospecção e avaliação de rizobactérias isoladas de solos nativos do Paraná, incluindo Unidades de Conservação Parque Estadual do Guartelá e Parque Nacional do Iguaçu, e uma área agrícola em Cafelândia, com potencial de promover crescimento vegetal, visando a aplicação para a cultura do feijão.

Objetivos

Realizar a prospecção e avaliação de rizobactérias isoladas de solos nativos do Paraná, a partir de nódulos e raízes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) usados como planta-isca, com o objetivo de identificar aqueles com potencial para promover o crescimento vegetal, para aplicação na cultura do feijão.

Objetivos específicos

- Isolamento de bactérias de solos nativos do estado do Paraná, a partir de nódulos e raízes de feijão, utilizados como planta-isca;
- Caracterização e identificação de bactérias dos solos nativos do Paraná;
- Realização de testes de fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfato e potássio, produção de ácido indolacético (AIA) e sideróforos, com o objetivo de avaliar o potencial de promoção de crescimento vegetal destas bactérias;
- Avaliação do potencial das estirpes bacterianas selecionadas no desenvolvimento de plantas de feijão.

1.0 Capítulo 1: Revisão Bibliográfica

1.1 Importância econômica da cultura do feijoeiro

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), é uma das principais fontes tradicionais de alimentação mundial, principalmente para classes de renda mais baixa, pois além de ser fonte de proteínas, minerais, vitaminas e fibras, é uma opção de consumo mais acessível economicamente (Embrapa, 2021). O gênero *Phaseolus* possui cerca de 55 espécies, das quais 5 apresentam potencial agrícola, sendo a *P. vulgaris* a mais cultivada no Brasil (Debouck, 1991).

A produção agrícola do feijão no Brasil, ocorre na maioria dos estados, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, mas também tem produção na região do Nordeste e Norte, onde se produz mais da espécie feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). Os estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Goiás são os maiores produtores de feijão comum (CONAB, 2024).

A época de semeadura dessa cultura, é dividida nos meses de Setembro à Novembro, de Janeiro à Março, também chamado de seca ou safrinha e o de outono-inverno, nos meses de Maio à Julho. Nesses meses, algumas interferências ambientais podem afetar a produção, como geadas e secas, necessitando em alguns momentos de irrigações (Embrapa, 2021).

O Brasil se destaca na produção de feijão comum, sendo o terceiro maior produtor de grãos desta cultura (FAO, 2021). O estudo realizado por Antolin *et al.* (2021), mostra que até 2050 é estimado um aumento de 44% na produtividade dessa leguminosa, para atender a demanda nutricional do país. Porém, essa pesquisa evidencia um aumento de 1,23 °C a 2,86 °C na temperatura para este mesmo ano, o que provavelmente diminuirá a produtividade desta cultura, visto que além do feijão ser uma planta sensível a alterações ambientais, esse incremento de temperatura pode acarretar o abortamento de flores e não formação das vagens e grãos na planta.

Além disso, outra problemática é que o feijão é uma planta promíscua, capaz de reconhecer diferentes fatores de nodulação, o que aumenta a competitividade de rizóbios nativos com bactérias inoculadas. No trabalho de Moura *et al.* (2025), é visto que o feijão-caupi, apresentou em seus nódulos uma

grande diversidade genética de bactérias, através da utilização de diferentes tipos de solos dos biomas Pantanal e Cerrado.

Portanto, pesquisas relacionadas a prospecção de bactérias promotoras de crescimento em diferentes tipos de solos, são alternativas viáveis, especialmente para a acultura do feijão. A simbiose de bactérias com plantas, podem aumentar a produção de grãos, e diminuir os impactos ocasionados nas plantas por alterações climáticas e ainda diminuir o uso de fertilizantes nitrogenados, evitando seus custos econômicos e ambientais (Agbodjato e Babalola, 2024).

1.2 Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCPs)

Ao longo da história evolutiva, as plantas desenvolveram algumas adaptações, que contribuem para a sua sobrevivência. Nesse sentido, elas apresentam interações com microrganismos, que auxiliam na absorção de nutrientes, além de desempenharem papel de proteção contra fitopatógenos (fungos, oomicetos, bactérias, vírus, protozoários e nematóides) e herbívoros (Khan *et al.*, 2020).

Com a busca de uma agricultura mais sustentável, a utilização de bactérias como estimulantes no desenvolvimento das plantas, são alternativas possíveis e viáveis para melhor expressão do potencial genético das plantas. Sabe-se que a rizosfera é uma porção do solo altamente dinâmica, onde o contato de raízes com microrganismos benéficos e patogênicos interagem entre si, através da produção e secreção de substâncias químicas (Zhang *et al.*, 2021)

As plantas liberam exsudados radiculares na rizosfera, sendo estes: açúcares, enzimas, ácidos orgânicos, aminoácidos, que atraem e favorecem o desenvolvimento de bactérias no local, e facilita a interação entre bactéria e planta. Portanto, existe uma relação simbiótica, visto que as bactérias fornecem nutrientes não disponíveis para as plantas, equilibrando o estresse biótico e abiótico (Ankati e Podile, 2019).

A associação e eficiência na promoção de crescimento vegetal entre rizobactérias e plantas dependem intimamente de como essas bactérias colonizam as raízes. Segundo Gray e Smith (2005), existe uma classificação de acordo com a proximidade dessas bactérias com as raízes, sendo as

rizobactérias intracelulares as que colonizam o interior das células das raízes, ou nos nódulos em plantas leguminosas. Exemplos de rizobactérias intracelulares são as do gênero *Bradyrhizobium* e *Rhizobium*, conhecidos como rizóbios. Já as rizobactérias extracelulares, são aquelas que colonizam a rizosfera ou os espaços entre as células do córtex da raiz (rizobactérias de vida livre e endofíticas), sendo como exemplo as bactérias do gênero *Azospirillum* sp., *Bacillus* sp., *Burkholderia* sp., *Pseudomonas* sp. e *Serratia* sp. As rizobactérias extracelulares, não possuem a capacidade de formar nódulos nas plantas, porém podem auxiliar na disponibilização de nutrientes para as plantas.

Algumas rizobactérias, possuem a capacidade de sintetizar fosfatos minerais, fornecer ou aumentar a produção de ácido-indolacético, promover a fixação associativa de nitrogênio, produzir sideróforos e outros compostos, auxiliando no desenvolvimento dessas plantas, e por essa razão são caracterizados como rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs) (Liu *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2021; Moretti *et al.*, 2020; Poveda *et al.*, 2021).

O grupo das RPCPs, é bastante diversificado, sendo essas bactérias classificadas de acordo com o seu efeito no crescimento vegetal. Dessa forma são classificadas em benéficas, deletérias ou neutras (Dobbelaere *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2008). As rizobactérias com efeito benéfico, auxiliam na qualidade do crescimento das plantas, além disso podem adaptar-se as diferentes condições climáticas. Por outro lado, as rizobactérias deletérias causam prejuízos às plantas, enquanto as rizobactérias neutras não têm efeito positivo nem negativo. Dessa forma, as bactérias benéficas, são alternativas viáveis para desempenharem funções de proteção contra o estresse biótico e abiótico das culturas (Villavicencio-Pulido *et al.*, 2024).

Além disso, as bactérias promotoras de crescimento vegetal, podem ser classificadas de acordo com a sua funcionalidade: (1) biofertilizantes, auxiliam na disponibilidade de nutrientes para as plantas; (2) fitoestimuladores, estimulam o desenvolvimento da planta, através da produção de hormônios; (3) rizorremediadores, atuam na quebra de moléculas de substâncias poluentes além de selecionar a absorção de alguns metais; (4) biopesticidas: através da produção de metabólitos antifúngicos e a síntese de antibióticos, atuam na proteção da planta contra doenças e patógenos (Novo *et al.*, 2018).

Dentre os principais microrganismos relatados como promotores de crescimento estão os gêneros: *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Azospirillum brasilense*, *Serratia marcescens*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Arthrobacter*, *Enterobacter*, *Azotobacter*, entre outras, (Leite *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2018; Longhini *et al.*, 2016; Narayanasamy; Thangappan; Uthandi, 2020; Nascente *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2019; Silveira *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2019; Zaheer *et al.*, 2019).

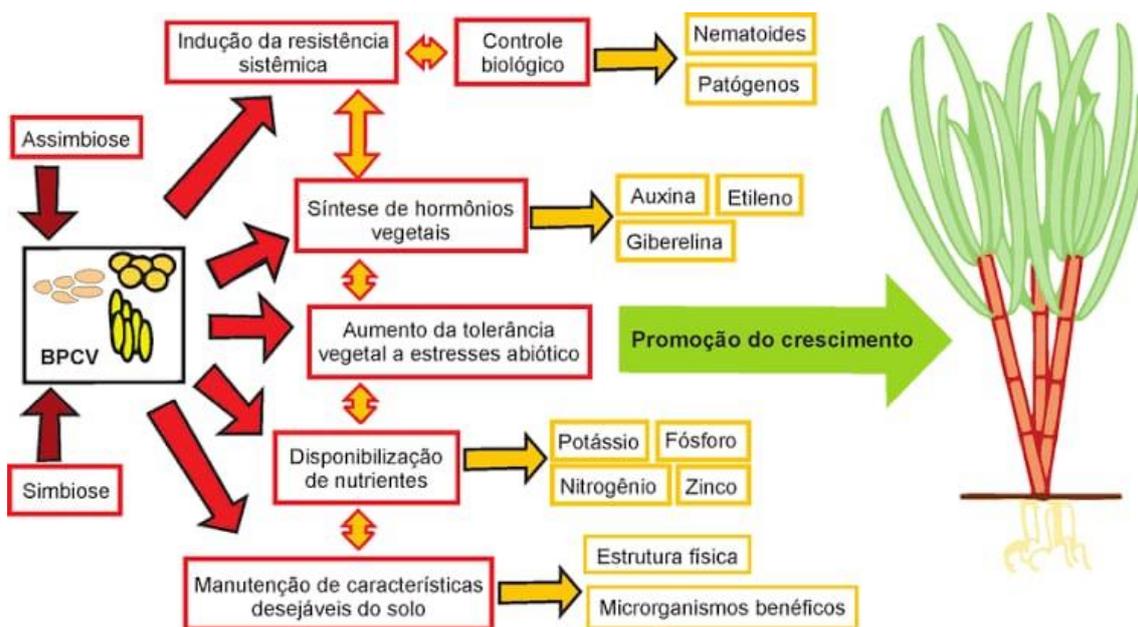


Figura 1. Mecanismos de ação das rizobactérias. Compostos bioativos secretados por rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP). Fonte: Silva *et al.*, 2022 (Adaptado de Maheswari, 2011).

1.3 Fixação Biológica do Nitrogênio

O Nitrogênio (N), é um macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, possuindo papel fundamental nos processos fisiológicos como respiração e fotossíntese (Kishorekumar *et al.*, 2020). Dessa forma, em práticas agrícolas, o uso de fertilizantes nitrogenados, acabam sendo muito utilizados, pois oferecem facilmente o N para as plantas. Porém, o seu uso é prejudicial ao meio ambiente, contribuindo para a contaminação da água e do solo, além de emitir gases de efeito estufa (Agbodjato e Babalola, 2024).

Apesar do N compor 80% da atmosfera, não está totalmente disponível para as plantas e microrganismos. Isso deve-se, porque para se tornar disponível precisa apresentar-se como nitrato, amônia e N orgânico. A fixação biológica do nitrogênio, realizada pela simbiose entre bactérias diazotróficas e leguminosas, é um processo eficiente, onde esses microrganismos induzem a formação de nódulos, e dentro desses nódulos ocorre o aproveitamento do N atmosférico (Rodriguez *et al.*, 2022).

Essas bactérias presentes na rizosfera e nos nódulos radiculares, possuem a enzima nitrogenase funcional, e podem disponibilizar o N para as plantas, já que por meio de várias reações de oxidação-redução, cada molécula de nitrogênio é convertida em duas moléculas de amônio, usando oito moléculas de NAD(P)H. O amônio quando solubilizado em água é convertido em hidróxido de amônio, que pode ser assimilado pelas raízes das plantas (Rodriguez *et al.*, 2022).

O processo de fixação biológica do N, contribui em média para os diferentes ecossistemas, cerca de 258 milhões de toneladas de N por ano. Essa produção, contribui bastante para a agricultura, principalmente para a cultura da soja, que a partir da década de 1960, iniciou o uso de inoculantes contribuindo para o aumento da produção, diminuindo o uso de fertilizantes e de gastos (Costa, 2023). Pesquisas realizadas com as espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii*, evidenciaram que a associação dessas bactérias com as raízes da soja, suprem totalmente o N necessário para a plena produção dessa cultura (Hungria *et al.*, 2007).

Na cultura do feijão, o N possui uma importância elevada, pois atua na formação e enchimento dos grãos, garantindo sua produtividade. Por ser uma leguminosa, o feijão possui a capacidade de se associar simbioticamente com bactérias fixadoras de N atmosférico, os rizóbios, pertencentes a família *Rhizobiaceae* (Guo *et al.*, 2023). Pesquisas evidenciam que a associação de bactérias do gênero *Rhizobium tropici* e *R. fleirei* com o feijão, apesar de não suprirem totalmente a demanda de N, se mostram muito eficientes e de grande interesse em novas pesquisas, tanto em pequenas propriedades rurais, quanto em propriedades maiores, que visam alta produção (Costa, 2023).

A cultura do feijão, por ser negligenciada, em alguns casos tem sido indicado de forma equivocada o uso de inoculantes utilizados na cultura da soja,

pois existem poucos inoculantes próprios para a cultura do feijão. Além disso, outros fatores limitantes de avanços com pesquisas de inoculantes de rizóbios em feijão, são os poucos investimentos em melhoramento genético para aperfeiçoar essa simbiose, visto que as estirpes de *Rhizobium* são bastante sensíveis a alterações e estresses ambientais, porém são ótimos formadores de nódulos radiculares (Hungria *et al.*, 2013).

Dessa forma, se faz necessário otimizar a tecnologia de fixação biológica de N da cultura do feijão, selecionando novas estirpes de rizóbios. A inoculação de bactérias fixadoras de N é uma prática sustentável na agricultura, que, além de promover o aumento da produção das culturas ao fornecer N para o desenvolvimento das plantas, também contribui para melhorar a fertilidade do solo (Timofeeva *et al.*, 2023).

1.4 Solubilização de Potássio e Fosfato

O potássio (K) é um cátion com grande mobilidade nas plantas, sendo um nutriente essencial que desempenha funções importantes no crescimento e desenvolvimento das plantas, como regulação de membrana, fotossíntese, e adaptações a estresse ambiental (Jhonson *et al.*, 2022).

O P pode ser classificado de acordo com Zorb, Senbayram e Peiter (2014), em quatro diferentes grupos, conforme sua disponibilidade para as plantas. Primeiro: como potássio solúvel, disponível para as plantas e microrganismos, porém sujeito a lixiviação. Segundo: como potássio trocável, infiltrado nos argilominerais e coloides orgânicos do solo. Terceiro: potássio não trocável, mantido fortemente por ligações de alta energia à argilominerais ou minerais primários. Quarto, potássio estrutural, incorporado a minerais como feldspato e micas, sendo as micas, pouco disponíveis as plantas.

Essa baixa disponibilidade de P no solo para as plantas, e a distribuição global desse nutriente, explica porque o Brasil é o maior importador de potássio, chegando a comprar em torno de 11,4 milhões de toneladas de cloreto de potássio, no ano de 2020. Esse nutriente é encontrado, principalmente em reservas de rochas chamadas de evaporitos, formados através da evaporação da água do mar, que em condições favoráveis precipitam estes minerais, ou ainda, em ambientes continentais através do contato da água superficial com as

rochas, que podem precipitar esses íons na forma de minerais (Motta, 2020). As reservas desse mineral de origem sedimentar, se restringem no Brasil, nos estados do Sergipe e Amazonas. Devido a essa alta dependência do Brasil em fertilizantes, a busca por fontes alternativas de P se tornam urgentes e necessárias.

O Fósforo (P) é o segundo nutriente mais importante para as plantas, pois atua nas funções fisiológicas, sendo considerado um componente fundamental do DNA, das membranas celulares e do transporte de energia celular das plantas. Porém a maioria dos solos possui deficiência no nutriente P solúvel para as plantas, por isso, necessita-se a utilização de fertilizantes fosfatados, sendo o P um dos nutrientes aplicados em maior quantidade nas culturas (Bouizgarne, 2022). Outro problema, é que o P pode estar presente em elevada quantidade no solo, mas apenas uma pequena parte dos fosfatos fica disponível, a maior parte interage com outras moléculas do solo, como por exemplo os óxidos de ferro, formando complexos insolúveis, levando a necessidade constante de utilização desses fertilizantes (Oliveira *et al.*, 2024).

Já existem estratégias de utilização de fosfatos de rochas (FR) para as culturas, além de buscas por microrganismos solubilizadores de fosfato, que facilitam a disponibilidade desse macronutriente e conseqüentemente o desenvolvimento dessas culturas de forma não agressiva ao meio ambiente (Azaroual *et al.*, 2020). As bactérias solubilizadoras de P que já foram descritas na literatura são pertencentes aos gêneros: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Bradyrhizobium*, *Burkholderia*, *Cyanobacteria*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Kushneria*, *Micrococcus*, *Paenibacillus*, *Rhizobium*, *Rhodococcus*, *Salmonella*, *Serraria*, *Sinomonas* e *Thiobacillus* (Bouizgarne, 2022; Kalayu, 2019).

Dessa forma, a atividade bioquímica de RPCV, é uma das alternativas sustentáveis a obtenção do P e K pelas plantas, pois possuem mecanismos facilitadores desse processo, como produção de ácidos orgânicos e liberação de prótons que diminuem o pH do solo e solubilizam esses nutrientes (Kumar; Kumar e Patel, 2018). Importante ressaltar, que a busca por novas estirpes solubilizadoras de fosfato e potássio, devem abranger diferentes locais de coleta de solo, para permitir uma maior diversidade e eficiência desses isolados bacterianos nas diferentes culturas de produção (Oliveira *et al.*, 2024).

1.5 Produção de Ácido Indol-3-acético

Os fito-hormônios podem ser produzidos por alguns microrganismos, plantas e algas, desempenhando papel fundamental na regulação do crescimento vegetal (Ankati e Podile, 2019). Entre as biomoléculas que podem estimular o desenvolvimento vegetal, estão as fitases e as auxinas. As auxinas são substâncias que estimulam o crescimento das plantas, sendo o ácido indol-3-acético (AIA), produzido principalmente no meristema apical (gema), e também na interação planta-bactéria (Afzal *et al.*, 2019).

A principal função desempenhada por essa auxina nas plantas, é no desenvolvimento e alongamento de caule e raízes, através do alongamento de células formadas nos meristemas, auxiliando na absorção radicular e também na germinação de sementes (Amin e Latif, 2017). Além disso, está envolvida em inúmeros processos fisiológico das plantas, como indução do sistema de defesa, tolerância a situações de estresse, e regulação do desenvolvimento vegetal (Ali *et al.*, 2024).

Essas auxinas são produzidas por diversos microrganismos, principalmente pelas bactérias promotoras de crescimento do gênero: *Azospirillum*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Burkholderia spp*, *Rhizobium*, *Pseudomonas* e podem ser utilizadas para incrementar o enraizamento e o desenvolvimento vegetal, resultando em maior massa radicular e maior absorção de nutrientes (Amin e Latif, 2017; Arshad *et al.*, 2016; Hussain *et al.*, 2015).

A via metabólica dessa auxina, demonstra que o AIA é sintetizado através de diferentes rotas, sendo uma dependente do aminoácido L-triptofano, em que este é convertido em Indol-3-acetamina (IAM) pela ação da enzima Triptofano-2-monooxigenase, e posteriormente convertido a ácido indolacético por meio da ação da enzima IAM-hidrolase, devido os microrganismos possuírem a capacidade de produzir uma conversão oxidativa, na presença do L-triptofano com peroxidases e radicais livres. As vias que não dependem da presença do L-Triptofano para produzir essa auxina, são chamadas de vias independentes de L-Triptofano (Patten e Glick, 2002; Spaepen, Vanderleyden e Remans, 2007).

Microrganismos que possuem a capacidade de produzir hormônios de crescimento vegetal, como por exemplo, o AIA, são classificados como fitoestimuladores (Vejan *et al.*, 2016). Portanto, rizobactérias produtoras dessa

auxina, podem estimular o aumento de raízes e aumento foliar, facilitando a absorção de água e nutrientes pela planta (Kang *et al.*, 2019).

Dessa forma, a busca por microrganismos eficientes no crescimento e adaptação das plantas são uma alternativa eficaz para uma agricultura sustentável. A prospecção de bactérias produtoras de AIA, são uma fonte importante para a aplicação na cultura do feijão, pois essas RPCP's atuam no desenvolvimento e crescimento das plantas (Silva *et al.*, 2022).

1.6 Produção de Sideróforos

O ferro (Fe) é um micronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, atuando em processos fundamentais como fotossíntese, respiração e síntese de DNA (Puig *et al.*, 2017). Apesar de estar disponível no ambiente para as plantas, nem sempre estão ao alcance dos vegetais, limitando assim a sua produtividade (Briat *et al.*, 2015).

Uma estratégia para minimizar os prejuízos da falta de Fe no desenvolvimento das plantas, são as bactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP), que possuem a capacidade de sintetizar sideróforos, que são moléculas que se ligam a diferentes receptores do ferro e são transportados na membrana celular dessas bactérias (Temofeeva *et al.*, 2022).

Os sideróforos, desempenham papel importante na nutrição dessas plantas, além de proteção contra fitopatógenos, pois possuem afinidade com as moléculas de Fe, diminuindo sua disponibilidade e inibindo o desenvolvimento de outros microrganismos (Ji, Gururani e Chun, 2014; Sulochana *et al.*, 2014). Embora sejam quelantes específicos de íons férricos, também é demonstrado que os sideróforos podem se ligar a outros metais, como os metais pesados divalentes, alumínio (Al), cádmio (Cd) e cobre (Cu), formando um composto metal-sideróforo de estabilidade constante (Rajkumar *et al.*, 2010). Com isso, a disponibilidade desses metais pode ser reduzida na rizosfera, diminuindo sua toxicidade para as plantas e os próprios microrganismos (Tank e Saraf, 2009).

Os sideróforos, podem ser classificados em 3 classes: carboxilato, hidroxamato e catecolato, de acordo com suas características estruturais, funcionais e tipos de ligação (Arora e Verma, 2017). São produzidos por diferentes fungos e bactérias, sendo as RPCP uma das principais em produzir

sideróforos e melhorar o crescimento das plantas sobre estresse hídrico, pois aumenta os níveis de ferro na planta (Zawadzka *et al.*, 2009).

Os gêneros *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Dickeya*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Kasakonia*, *Methylobacterium*, *Nocardia*, *Pantoeae*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Serratia*, entre outros, já foram relatados como produtores de sideróforos (Timofeeva *et al.*, 2022). Portanto, é importante a prospecção de novas bactérias produtoras de sideróforos e que sejam adaptadas em solos nativos, para melhor desempenho quando inoculadas nas culturas da região (Yuan *et al.*, 2021).

1.7 Importância da prospecção de rizobactérias em diferentes tipos de solos

O solo constitui um ecossistema complexo e altamente diversificado em termos de microbiota bacteriana, apresentando-se como um substrato privilegiado para o isolamento e caracterização de microrganismos (Fierer, 2017). Estes microrganismos desempenham papéis fundamentais na manutenção das funções dos ecossistemas, auxiliando na ciclagem de nutrientes e determinação da produtividade das culturas (Jansson e Hofmockel, 2020).

A diversidade bacteriana do solo é influenciada por uma variedade de fatores abióticos e bióticos, tais como o pH do solo, a rotação de culturas e o conteúdo de nitrogênio inorgânico, os quais exercem impactos significativos na estrutura e composição desses ecossistemas microbianos (Xiong *et al.*, 2024). Em solos agrícolas, por exemplo, o uso excessivo de fertilizantes químicos, tem contribuído para o aumento do pH do solo, sendo corrigido com substâncias de alto pH (calagem), o que também modifica as comunidades microbianas do solo (Xiong *et al.*, 2024).

O isolamento de bactérias nativas do solo é de extrema relevância, uma vez que esses microrganismos apresentam elevada capacidade competitiva em relação a outros microrganismos, incluindo estirpes inoculadas, o que pode resultar em variabilidade nos resultados da inoculação. Além disso, as bactérias nativas representam uma valiosa fonte de recursos genéticos, permitindo o isolamento de bactérias adaptadas a condições ambientais específicas, como

solos ácidos, estresse hídrico e altas temperaturas (Denton *et al.*, 2003; Wekesa *et al.*, 2023).

Portanto, a investigação de solos oriundos de áreas distintas, tanto preservadas quanto agrícolas, contribui de forma significativa para o avanço do conhecimento acerca da diversidade microbiana, pois fatores como pH, uso do solo, grau de preservação do ambiente e disponibilidade de nutrientes desempenham papéis fundamentais na determinação da composição e da diversidade bacteriana desses ecossistemas (Lauber *et al.*, 2008).

1.8 Bioinsumos

O conceito bioinsumos, determinado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa, 2021), é definido como:

O produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos.

Nos últimos anos, devido as consequências da utilização de insumos químicos na qualidade do solo e do meio ambiente, houve um aumento na procura de insumos alternativos, como por exemplo, os inoculantes biológicos produzidos a partir microrganismos benéficos, que além de otimizar o rendimento agrícola, reduz o uso de fertilizantes químicos (Maitra *et al.*, 2021).

Estes inoculantes biológicos são produzidos a partir de microrganismos elites que podem se encaixar em várias funções agronômicas, como por exemplo, induzir a nodulação de plantas leguminosas e auxiliar na fixação biológica de nitrogênio (*Bradhyrizobium sp.*) facilitar a absorção de fosfato e potássio no solo (*Bacillus sp.*) proteger as plantas de agentes estressores (*Bacillus aryabattai*) e ainda controlar o crescimento de fitopatógenos (*Bacillus thurgiensis*) (Santos, Nogueira e Hungria, 2019).

Desde o início da fabricação desses inoculantes biológicos, as indústrias se preocupam em formular um produto de qualidade, com eficiência e garantia para os produtores. Portanto, uma das preocupações é sobre o carreador desses microrganismos vivos. No Brasil a fabricação desse produto é a base de material turfoso e líquido. A turfa por ser um material constituído de solo orgânico em locais específicos, sendo o Brasil, um país com poucas turfeiras, é utilizada com menos frequência na inoculação de sementes, se aderindo a elas, enquanto os inoculantes líquidos são mais utilizados, podendo ser aplicados na semente, no sulco, pulverizados no solo ou aplicação foliar (Santos, Nogueira e Hungria, 2019).

A forma de aplicação desses inoculantes nas culturas, interfere diretamente no grau de sua produtividade. Na cultura do feijão, é aplicado tradicionalmente na semente, mas vem crescendo evidências de estudos que mostram que a inoculação diretamente no sulco de semeadura obtém uma população de microrganismos mais bem estabelecida, podendo ocorrer uma nodulação secundária, favorecendo a fixação biológica do nitrogênio e uma maior produtividade (Zilli *et al.*, 2010). Ressaltando que é possível fazer a inoculação de apenas uma cepa de bactéria, ou a coinoculação, que é consórcio microbiano multifuncional, sendo uma abordagem interessante para o avanço da agricultura sustentável (Rossetim *et al.*, 2025).

Portanto, os bioinsumos desempenham um papel central na busca por uma agricultura sustentável e ecologicamente correta, uma vez que a inoculação ou coinoculação desses microrganismos nas culturas auxilia na assimilação e aquisição de nutrientes pelas plantas, melhora a qualidade do solo e reduz os efeitos prejudiciais do uso excessivo de fertilizantes sintéticos no meio ambiente (Maitra *et al.*, 2021; Rossetim *et al.*, 2025).

2.0 Considerações Finais

A busca por práticas agrícolas mais sustentáveis tem sido intensificada nos últimos anos, em resposta aos impactos ambientais causados pelo uso excessivo de fertilizantes químicos. Nesse contexto, o uso de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal surge como uma alternativa promissora, pois

além de promover o desenvolvimento das plantas, contribui para a redução da dependência de insumos químicos.

Considerando o crescimento populacional projetado para os próximos anos, o feijão, um dos alimentos mais consumidos globalmente, exige maior atenção em termos de manejo e produção. Contudo, a eficácia dos inoculantes comerciais para o feijão ainda é limitada em comparação com os utilizados para outras leguminosas, como a soja. Isso deve ao fato do feijão apresentar diferentes fatores de nodulação, resultando em uma competição entre as bactérias nativas do solo e as inoculadas.

Diante disso, a prospecção de novas estirpes nativas, especialmente em ecossistemas locais, é crucial para melhorar a eficiência das interações entre rizobactérias e o feijoeiro, com o objetivo de melhorar a produtividade e a sustentabilidade da cultura.

3.0 Referências Bibliográficas

AFZAL, I., SHINWARI, Z. K., SIKANDAR, S., SHAHZAD, S. Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. **Microbiological research**, v. 221, p. 36-49, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.02.001>

AGBODJATO, N. A., e BABALOLA, O. O. Promoting sustainable agriculture by exploiting plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve maize and cowpea crops. **Peer J**, 12, 2024. Doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.16836>

ALI, D. A., AHMED, T., IBRAHIM, E., RIZWAN, M., CHONG, K. P., E YONG, J. W. H. A review on mechanisms and prospects of endophytic bacteria in biocontrol of plant pathogenic fungi and their plant growth-promoting activities. **Heliyon**, v.10 (11), 31573, 2024. Doi: [10.1016/j.heliyon.2024.e31573](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31573).

AMIN, A.; LATIF, Z. Screening of mercury-resistant and indole-3-acetic acid producing bacterial-consortium for growth promotion of *Cicer arietinum* L. **Journal of Basic Microbiology**, v. 57, n. 3, p. 204-217, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1002/jobm.201600352>

ANDRETA, M.F.L., AFONSO, L., NIEKAWA, E.T.G., SALOMÃO, J.M., BASSO, K.R., SILVA, M.C.D., ALVES, L.C., ALARCON, S.F., PARRA, M.E.A., GRZEGORCZYK, K.G., CHYSSAFIDIS, A.L., E ANDRADE, G. Microbial Fertilizers: A study on the Current Scenario of Brazilian Inoculants and Future Perspectives. **Plants**, 13 (16), 2246, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants13162246>

ANKATI, S., E PODILE, A. R. Understanding plant-beneficial microbe interactions for sustainable agriculture. **Journal of Spices & Aromatic Crops**, v. 27, n. 2. p. 93-105, 2019. Doi: <https://doi.org/10.25081/josac.2018.v27.i2.1098>

ANTOLIN, L. A. S.; HEINEMANN, A. B.; MARIN, F. R. Impact assessment of common bean availability in Brazil under climate change scenarios. **Agricultural Systems**, v. 191, p. 103-174, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103174>

ARAÚJO, T. G. F., RODRIGUES, E. P., HUNGRIA, M. e BARCELLOS, F. G. Soil and climatic conditions determine the rhizobia in association with *Phaseolus vulgaris* in southern Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42770-025-01621-0>

ARORA, N. K.; VERMA, M. Modified microplate method for rapid and efficient estimation of siderophore produced by bacteria. **Biotechnology**, v. 7, n. 6, p.381, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13205-017-1008-y>

ARSHAD, M., ARSHAD, M., LEVEAUE, J. H., ASAD, S., IMRAN, A., E MIRZA, M. S. Comparison of rhizospheric bacterial populations and growth promotion of AVP1 transgenic and non-transgenic cotton by bacterial inoculations. **Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 26, n. 5, p. 1284-1290, 2016.

ARSLAN, M., BULUT, S. The effects of *Bacillus* ssp. on germination and seedling growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Current Trends in Natural Sciences**, 12, 23, 160-166, 2023. Doi: <https://doi.org/10.47068/ctns.2023.v12i23.017>

AZAROUAL, S. E., HAZZOUMI, Z., EL MERNISSI, N., AASFAR, A., MEFTAHA, K. I., BOUIZGARNE, B. Role of inorganic phosphate solubilizing *Bacilli* isolated from Moroccan phosphate rock mine and rhizosphere soils in wheat (*Triticum aestivum* L.) phosphorus uptake. **Current Microbiology**, 77, 2391–2404, 2020. Doi: [10.1007/s00284-020-02046-8](https://doi.org/10.1007/s00284-020-02046-8)

BIBI, A., BIBI, S., AL-GHOUTI, M. A., E ABU-DIEYEH, M. H. Isolation and evaluation of Qatari soil rhizobacteria for antagonistic potential against phytopathogens and growth promotion in tomato plants. **Scientific Reports** 13, 22050, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49304-w>

BOUIZGARNE, B., BAKKI, M., BOUTASKNIT, A., BANANE, B., E. L., OUARRAT, H., AIT, E. L., MAALEM, S., AMENZOU, A., GHOUSMI, A., MEDDICH, A. Phosphate and potash solubilizing bacteria from Moroccan phosphate mine showing antagonism to bacterial canker agent and inducing effective tomato growth promotion. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, (14), 970382, 2023. Doi: [10.3389/fpls.2023.970382](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.970382)

BRIAT, J. F., DUBOS, C. E GAYMARD, F. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. **Trends in Plant Science**, 20 (1), 33-40, 2015. Doi: [10.1016/j.tplants.2014.07.005](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.07.005)

CONAB. Monitoramento agrícola- Safra 2024/2025. Acompanhamento da safra Brasileira de Grãos. Companhia Nacional de Abastecimento, 2024. Disponível em:

file:///C:/Users/User/Downloads/Ebook_BoletimZdeZSafrasZZ4Zlevantamento_1%20(1).pdf Acesso em: 22 Jan. 2025.

COSTA, M. M. M. N. Fixação biológica de Nitrogênio: uma revisão, 2023. Documento 293 Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1162060/1/FIXA_CAO-BIOLOGICA-REVISAO.pdf

DALL'AGNOL, R. F.; RIBEIRO, R. A.; ORMEÑO-ORRILLO, E.; ROGEL, M. A.; DELAMUTA, J. R. M.; ANDRADE, D. S.; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; HUNGRIA, M. *Rhizobium freirei* sp. nov., a symbiont of *Phaseolus vulgaris* that is very effective at fixing nitrogen. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 63, p. 4167-4173, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1099/ijs.0.052928-0>

DEBOUCK, D.G. Systematics and morphology. In: Van Schoonhoven, A.; Voysest, O. (eds.) Common beans: research for crop improvement. Cali: CIAT, 1991. p. 55-181.

DENTON, M. D; REEVE, W. G; HOWIESON, J. G; COVENTRY, D. R. Competitive abilities of common field isolates and a commercial strain of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* for clover nodule occupancy. **Soil Biology and Biochemistry**, 2003, 35, 1039–1048, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00146-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00146-9)

EMBRAPA. Sistema de produção de feijão - 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1142446/1/Doc-384.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2025.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Embrapa Solos, 1999. 412p.

FAO (2021). Bancos de dados e software: Informações sobre culturas, feijão (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação). Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/bean/en/>

FIERER N. Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil Microbiome. **Nature Reviews Microbiology**, v. 15, p. 579–590, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87>

GRANIZO, D. G. B., SULCA, R. L., MENDONZA, F. J. Y., E CARRASCO, J. D. S. Enhancing turnip cultivation with plant growth-promoting bacteria in organic fertilizer. **Caatinga**, v. 38, p. 12843, 2025. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252025v3812843rc>

GRAY, E. J.; E SMITH, D. L. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes. **Soil biology and biochemistry**, v. 37, n. 3, p. 395-412, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.08.030>

GUO, K., YANG, J., YU, N., LUO, L., E WANG, E. Biological nitrogen fixation in cereal crops: Progress, strategies, and perspectives. **Plant Communications**, v. 4, (2), 100499, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100499>

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283). Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/bolpd283soja.pdf>

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; MERCANTE, F. M. Tecnologia de fixação biológica do nitrogênio com o feijoeiro: viabilidade em pequenas propriedades familiares e em propriedades tecnificadas. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 32 p. (Embrapa Soja. Documentos, 338). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/964425>

HUSSAIN, A., SHAH, S. T., RAHMAN, H., IRSHAD, M., E IQBAL, A. Effect of IAA on in vitro growth and colonization of Nostoc in plant roots. **Frontiers of Plant Science**, v. 6, p. 46, 2015. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00046>

Jansson, J.K., Hofmockel, K.S. Soil microbiomes and climate change. **Nature Reviews Microbiology**, v.18, p. 35–46, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>

JI, S. H.; GURURANI, M. A.; CHUN, S. C. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars. **Microbiological Research, Germany**, v. 169, n. 1, p. 83-98, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.06.003>

JOHNSON, R., VISHWAKARMA, K., HOSSEN, M. S., KUMAR, V., SHACKIRA, A. M., PUTHUR, J. T., ABDI, G., SARRAF. M., E HASANUZZAMAN, M. Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.1, (172), 56-69, 2022. Doi: [10.1016/j.plaphy.2022.01.001](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.001).

KALAYU G. Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, 4917256, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>

KANG, S. M., KHAN, A. L., WAGAS, M., ASAF, S., LEE, K. E., PARK, Y. G., KIM, A. Y., KHAN, M. A. , YOU, Y. H. E LEE, I. J. Integrated phytohormone production by the plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus tequilensis* SSB07 induced thermotolerance in soybean. **Journal of Plant Interactions**, v.14 (1), 416-423, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1640294>

KHAN, A., DING, Z., ISHAQ, M., KHAN, I., AHMED, A. A, KHAN, A.Q., E GUO, X. Applications of beneficial plant growth promoting rhizobacteria and mycorrhizae in rhizosphere and plant growth: A review. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, 13 (5), 199, 2020. Doi: 10.25165/j.ijabe.20201305.5762

KISHOREKUMAR, R., BULLE, M., WANY, A., GUPTA, K. J. An Overview of Important Enzymes Involved in Nitrogen Assimilation of Plants. In: Gupta, K. (eds) Nitrogen Metabolism in Plants. **Métodos em Biologia Molecular**, v.2057, 2020. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9790-9_1

KORIR, H., MUNGAI, N. W., THUITA, M., HAMBA, Y., E MASSO, C. Co-inoculation Effect of Rhizobia and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Common Bean Growth in a Low Phosphorus Soil. **Frontiers in Plant Science**, 8 (141), 2017. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00141>

KUMAR A., KUMAR A., E PATEL H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.7, (5), 1344-1347, 2018. Doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.161>.

LAUBER, C.L., HAMADY, M., KNIGHT, R., E FIERER, N. Pyrosequencing-Based Assessment of Soil pH as a Predictor of Soil Bacterial Community Structure at the Continental Scale. **Applied and Environmental Microbiology**, v.75, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.00335-09>

LEITE, R. C., SANTOS, J. G. D., SILVA, E. L., ALVES, C. R. C. R., HUNGRIA, M., E SANTOS, A. C. Productivity increase, reduction of nitrogen fertilizer use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. **Crop & Pasture Science**, v. 70, n. 1, p. 61-67, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1071/CP18105>

LIN, Y., WATTS, D. B., KLOPPER, J. W., E TORBERT, H. A. Influence of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Corn Growth Under Different Fertility Sources. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, (10), 1239–1255, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1457155>

LINDSTRÖM, K., MOUSAVI, S.A. Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. **Microbial Biotechnology**, 13 (5), 1314–1335, 2020. Doi: 10.1111/1751-7915.13517

LIU, Y., TANG, H., LI, H., ZHANG, F., RENGEL, Z., WHALLEY, W.R., E SHEN. Major crop species show differential balance between root morphological and physiological responses to variable phosphorus supply. **Frontiers in Plant Science**, 7, 1939-1939, 2016. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01939>

LONGHINI, V. Z., SOUZA, W. C. R., ANDREOTTI, M., SOARES, N. A., E COSTA, N. R. Inoculation of diazotrophic bacteria and nitrogen fertilization in topdressing in irrigated corn. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, p. 338-347, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n210rc>

LOPES, M.J.S.; SANTIAGO, B.S.; SILVA, I.N.B.; E GURGEL, E.S.C. Microbial biotechnology: inoculation, mechanisms of action and benefits to plants. **Research in Social Development** v.10, (12), 2021. Doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20585>

MAITRA, S., BRESTIC, M., BHADRA, P., SHANKAR, T., PRAHARAJ, S., PALAI, J. B., SHAH, M. M. R., BAREK, V., ONDRISIK, P., SKALICKÝ, M., E HOSSAIN, A. Bioinoculants-Natural Biological Resources for Sustainable Plant Production. **Microorganisms**, 10, (1), 51, 2021. Doi: 10.3390/microorganisms10010051.

MAPA. Conceitos. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>. Acesso em: 09 nov. 2021.

MARTINEZ-ROMERO, E.; SEGOVIA, L.; MERCANTE, F. M.; FRANCO, A. A.; GRAHAM, P.; PARDO, M. A. *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. trees. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 41, n. 3, p. 417- 426, 1991. Doi: <https://doi.org/10.1099/00207713-41-3-417>

MERCANTE, F. M.; OTSUBO, A. A.; BRITO, O. R. New native rhizobia strains for inoculation of common bean in the Brazilian savanna. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-11, 2017. Doi: 10.1590/18069657rbcS20150120

MICHIELS, J.; DOMBRECHT, B.; VERMEIREN, N.; XI, C.; LUYTEN, E.; VANDERLEYDEN, J. *Phaseolus vulgaris* is a non-selective host for nodulation. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 26, n. 3, p. 193-205, 1998. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(98\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(98)00035-X)

MORETTI, L.G., CRUSCIOL, C.A.C., KURAMAE, E.E., BOSSOLANI, J.W., MOREIRA, A., COSTA, N.R., E HUNGRIA, M. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. **Agronomy Journal**, v.112, (1), 418-428, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.20010>

MOTTA, M. B. (org.). Avaliação do potencial de potássio no Brasil: área Bacia do Amazonas, setor centro-oeste, estados do Amazonas e Pará. Manaus: CPRM, 2020. 124 p. (Insumos Minerais para Agricultura, 23). Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21740>. Acesso em: 10 jul. 2024.

MOURA, F.T., DELAI, C.V., KLEPA, M.S., RIBEIRO, R. A., NOGUEIRA, M. A., E HUNGRIA, M. Unveiling remarkable bacterial diversity trapped by cowpea (*Vigna unguiculata*) nodules inoculated with soils from indigenous lands in Central-Western Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42770-025-01622-z>

NARAYANASAMY, S.; THANGAPPAN, S.; UTHANDI, S. Plant growth-promoting *Bacillus* sp. cahoots moisture stress alleviation in rice genotypes by triggering antioxidant defense system. **Microbiological Research**, v. 239, p. 126518, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126518>

NASCENTE, A. S., TEMITOPE, I. Z., FILIPPI, M. C. C., E CRUZ, D. R. C. Effect of one or more microorganisms on the yield components of upland rice under greenhouse conditions. **Journal of Environmental Science and Health**, v.58 (13), 991–1000, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1080/10934529.2023.2286858>

NOVO, L. A. B., CASTRO, P. M. L., ALVARENGA, P., & DA SILVA, E. F. Plant growth-promoting rhizobacteria-assisted phytoremediation of mine soils. **Bio-geotechnologies for Mine Site Rehabilitation**, v.16, p.281–295, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00016-6>

OLIVEIRA, J. A.; LOURENÇO, F. M. S.; FEITOSA, D. G.; CERESINI, P. C.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Bioprospecting phosphate-solubilizing bacteria in soils with different fertility levels. **Semina: Ciências Agrárias**, v.45, p. 271-286, 2024. Doi: [10.5433/1679-0359.2024v45n1p271](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2024v45n1p271)

PATTEN, C. L.; GLICK, B. R. Regulation of indoleacetic acid production in *Pseudomonas putida* GR12-2 by tryptophan and the stationary-phase sigma factor RpoS. **Canadian journal of microbiology**, v. 48, n. 7, p. 635–642, 2002. Doi: <https://doi.org/10.1139/w02-053>

PEREIRA, W., SOUSA, J. S., SCHULTZ, N., E REIS, V. M. Sugarcane Productivity as a Function of Nitrogen Fertilization and Inoculation with Diazotrophic Plant Growth-Promoting Bacteria. **Sugar Tech** v. 21, 71–82, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0638-7>

POVEDA, J., EUGUI, D., ABRIL-URIAS, P., E VELASCO, P. Endophytic fungi as direct plant growth promoters for sustainable agricultural production. **Symbiosis**, 85, (1), 1-19, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00789-x>

PUIG, S., RAMOS ALONSO, L., ROMERO, A. M. & MARTÍNEZ PASTOR, M. T. The elemental role of iron in DNA synthesis and repair. **Metallomics**, 9 (11), 1483-1500, 2017. Doi: [10.1039/c7mt00116a](https://doi.org/10.1039/c7mt00116a)

RAJKUMAR, M.; AE, N.; PRASAD, M. N. V.; FREITAS, H. Potential of siderophore-producing bacteria for improving heavy metal phytoextraction. **Trends in Biotechnology**, v. 28, n. 3, p. 142-149, 2010. Doi: [10.1016/j.tibtech.2009.12.002](https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.12.002).

RAMAKRISHNA, W., YADAV, R., E LI, K. Plant growth promoting bacteria in agriculture: two sides of a coin. **Applied Soil Ecology**, (138), 10-18, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.019>

RODRIGUEZ, A. C., MARTINEZ, M. E. R., MIRANDA, C. A. L., ORTÍZ, J. M. G., E SALAZAR, S. F. M. Simple and sensitive spectrophotometric method for estimating the nitrogen-fixing capacity of bacterial cultures. **MethodsX**, v.9, 1-5, 2022. Doi: [10.1016/j.mex.2022.101917](https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101917)

ROSSETIM, M. F. T., MOTTA, A. C. V., KONDO, Y. R., RUTHES, B. E. S., HUNGRIA, M., SALLES, J. F., KASCHUK, G. Enhancing Soybean Yield Through

Inoculation of Multifunctional Microbial Consortia. **International Journal of Agronomy**, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1155/ioa/9491715>

SANTOS, M.S., NOGUEIRA, M.A. e HUNGRIA, M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v.9, 205, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>

SEGOVIA, L.; YOUNG, J. P. W.; MARTINEZ-ROMERO, E. Reclassification of American *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli type I strains as *Rhizobium etli* sp. nov. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 43, n. 2, p. 374-377, 1993. Doi: <https://doi.org/10.1099/00207713-43-2-374>

SILVA, M. A., NASCENTE, A. S., REZENDE, C. C., FRASCA, L. L. M., FILIPPI, M. C. C., LANNA, A. C., FERREIRA, E. P. B., CRUZ, D. R. C., LACERDA, M. C., e FERREIRA, E. A. S. Rizobactérias multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. 3111426971, 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.26971>

SILVA, M. S. R., TAVARES, O. C. H., DE OLIVEIRA, I. S. R, *et al.* Stimulatory effects of defective and effective 3-indoleacetic acid-producing bacterial strains on rice in an advanced stage of its vegetative. **Brazilian Journal of Microbiology**, 53, 281–288 2022. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00651-8>

SILVEIRA, A. P. D., IÓRIO, R. P. F., MARCOS, F. C. C., FERNANDES, A. O., SOUZA, S. A. C. D., KURAMAE, E. E., E APARECIDO, M. Exploitation of new endophytic bacteria and their ability to promote sugarcane growth and nitrogen nutrition. **Antonie van Leeuwenhoek** v.112, 283–295, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10482-018-1157-y>

SOUZA, E. M. et al. Does the nitrogen application associated with *Azospirillum brasilense* inoculation influence corn nutrition and yield? **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 53-59, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p53-59>

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 31, n. 4, p. 425–448, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x>

SULOCHANA, M. B. et al. Siderophore as a potential plant growthpromoting agent produced by *Pseudomonas aeruginosa* JAS-25. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 174, n. 1, p. 297-308, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1039-3>

TANK, N.; E SAARAF, M. Enhancement of plant growth and decontamination of nickel-spiked soil using PGPR. **Journal of Basic Microbiology**, v. 49, p.195–204, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1002/jobm.200800090>

TIMOFEEVA, A. M., GALYAMOVA, M. R., E SEDYKH, S. E. Bacterial Siderophores: Classification, Biosynthesis, Perspectives of Use in Agriculture. **Plants**, 11, (22), 3065, 2022. Doi: 10.3390/plants11223065.

VEJAN, P., ABDULLAH, R., KHADIRAN, T., ISMAIL, S. E BOYCE, A. N. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability. A. Review. **Molecules**, v.21 (5), 673-693, 2016. Doi: <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>

VILLAVICENCIO-PULIDO, J. G., ROBLES-SÁMANO, R., TAPIA-SANTOS, B. Sustainable scenarios in a plants–rhizobacteria–plant consumers system are in risk when biotic or abiotic factors change. **Mathematical Biosciences**, v. 375, 109261, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2024.109261>

WEKESA C, KIPROTICH K, OKOTH P, ASUDI G. O, MUOMA J. O, FURCH A. C. U, OELMÜLLER R. Molecular Characterization of Indigenous *Rhizobia* from Kenyan Soils Nodulating with Common Beans. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, (11), 9509, 2023. Doi: 10.3390/ijms24119509

XIONG, R., HE, X., GAO, N., LI, Q., QIU, Z., HOU, Y., SHEN, W. Soil pH amendment alters the abundance, diversity, and composition of microbial communities in two contrasting agricultural soils. **Microbiology Spectrum**, v.12, (8), p. 04165-23, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1128/spectrum.04165-23>

YEKEN, M. Z., AKPOLAT, H., KARAKOY, T., e ÇİFTÇİ, V. Assessment of Mineral Content Variations for Biofortification of the Bean Seed. **International Journal of Agriculture and Wildlife Science**, v. 4, (2), p. 261–269, 2018. Doi:10.24180/ijaws.455311

YUAN, M.M., GUO, X., WU, L., ZHANG, Y., XIAO, N., NING, D., SHI, Z., ZHOU, X., WU, L., YANG, Y., TIEDJE, J.M., E ZHOU, J. “Climate warming enhances microbial network complexity and stability.” **Nature Climate Change**, 11, 343-348, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-00989-9>

ZAHEER, M. S., RAZA, M. A. S., SALEEM, M. F., KHAN, I. H., AHMAD, S., E IQBAL, R. Investigating the effect of *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium pisi* on agronomic traits of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, (11), p. 1554–1564, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1566954>

ZHANG, J., COOK, J., NEARING, J. T., ZHANG, J., RAUDONIS, R., GLICK, B. R., LANGILLE, M. G. I., CHENG, Z. Harnessing the plant microbiome to promote the growth of agricultural crops. **Microbiological Research**, 245:126690, 2021. Doi: 10.1016/j.micres.2020.126690. Epub 2021 Jan 6. PMID: 33460987.

ZAWADZKA, A. M.; ABERGEL, R. J.; NICHIPORUK, R.; ANDERSEN, U. N.; RAYMOND, K. N. Siderophore-mediated iron acquisition systems in *Bacillus cereus*: identification of receptors for anthrax virulence associated petrobactin. **Biochemistry**, v. 48, p. 3645-3657, 2009. Doi: 10.1021/bi8018674.

ZILLI, J. E.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R. J.; ROUWS, J. R. C; HUNGRIA, M. Inoculação da soja com *Bradyrhizobium* no sulco de semeadura alternativamente à inoculação de sementes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1875-1881, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600011>

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture: status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>

1 **Capítulo 2: Rizobactérias Promissoras para Fixação de Nitrogênio e Solubilização**
2 **de Nutrientes: Uma Solução Sustentável para a Agricultura do Feijoeiro**

3

4 **Luana de Souza^a, Débora Pedroso^a, Débora Marina Bandeira^a, Camila Vogt dos Santos^a,**
5 **Andressa Luiza Machado dos Santos^a, Aline Snack^b, Odair Alberton^c, Renata Mussoi**
6 **Giacomin^d, Paulo Roberto Da-Silva^d, Fabiana Gisele da Silva Pinto^a**

7

8 ^aUniversidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Conservação e Manejo de
9 Recursos Naturais, e Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rua Universitária 2069, Jardim
10 Universitário, 85819-110 Cascavel, PR, Brasil. E-mail para correspondência:
11 luana.desouza98@hotmail.com, deborapedroso9@hotmail.com, dm-bandeira@hotmail.com
12 cami_vogt@hotmail.com andressa.luiza.s@hotmail.com, fabiana.pinto@unioeste.br.

13 ^bSBS Laboratório – Análises Agronômicas e Veterinárias, Cascavel, PR, Brasil. E-mail para
14 correspondência: alinesnak@hotmail.com

15 ^cUniversidade Paranaense, Campus Sede Umuarama, Rua Praça Mascarenhas de Morães, 4282 – Centro
16 87502-210, Umuarama, PR, Brasil. E-mail para correspondência: odair@prof.unipar.br.

17 ^dUniversidade Estadual do Centro-Oeste, Campus CEDETEG, Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838,
18 Vila Carli, 85040-167, Guarapuava, PR, Brasil. E-mail para correspondência: giacomin.rm@gmail.com,
19 prsilva@unicentro.br

20

21 **RESUMO:**

22 A redução dos impactos negativos da agricultura no meio ambiente é um desafio global.
23 O uso de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCPs) tem se mostrado uma
24 estratégia promissora para promover uma agricultura mais sustentável, reduzindo a
25 dependência de fertilizantes químicos e melhorando a saúde e qualidade do solo. Este
26 estudo teve como objetivo a prospecção e identificação de rizobactérias com potencial
27 biotecnológico, isoladas de raízes e nódulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L) cultivados
28 em solos nativos do Paraná, incluindo o Parque Estadual do Guartelá (PEG), Parque
29 Nacional do Iguaçu (PNI) e Cafelândia (CAF). As rizobactérias foram avaliadas quanto
30 à fixação biológica de nitrogênio (FBN), solubilização de fósforo (SP) e potássio (SK),
31 produção de ácido indol-3-acético (AIA) e sideróforos, além do efeito na germinação de
32 sementes de feijão. Foram isoladas 90 bactérias, das quais 65,56% demonstraram
33 capacidade de fixar nitrogênio e 6,67% dos isolados solubilizaram o P. Os índices de
34 solubilização de K destacaram os isolados *Bacillus* sp. PNI99 e *Bacillus safensis* CAF83
35 com solubilização média. A produção de AIA e de sideróforos variaram entre 0,6 µg/mL⁻¹
36 e 35,19 µg/mL⁻¹, e 70,4 µM a 184,3 µM, respectivamente. Na germinação de feijão, *B.*

37 *safensis* CAF83 destacou-se ao aumentar significativamente o peso seco das raízes. Os
38 resultados indicam que os isolados bacterianos, em especial *B. safensis* CAF83,
39 apresentam elevado potencial para aplicação como bioinoculantes na cultura do feijão,
40 promovendo um crescimento vegetal sustentável.

41

42 **Palavras-chave:** *Bacillus* sp.; Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas;
43 Inoculantes biológicos; *Phaseolus vulgaris* L.; Sustentabilidade.

44

45 1.0 INTRODUÇÃO

46

47 O setor agrícola enfrenta uma crescente pressão para atender à demanda global
48 por alimentos, impulsionada pelo rápido crescimento populacional, estimado em 9
49 bilhões de pessoas até 2050 (Ramakrishna et al., 2019). Essa expansão representa um
50 desafio significativo para garantir a segurança alimentar enquanto se preserva a saúde dos
51 ecossistemas e a sustentabilidade dos recursos naturais (Smith, 2018). Entre as culturas
52 alimentícias, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) destaca-se como uma das principais
53 fontes de nutrientes, sendo amplamente consumido devido ao seu elevado teor de
54 proteínas, carboidratos, ferro, zinco e vitaminas. No Brasil, a produção anual dessa
55 leguminosa alcança 3,4 milhões de toneladas (CONAB, 2024), reforçando sua relevância
56 social e econômica.

57 Para sustentar a crescente demanda, o uso intensivo de fertilizantes e produtos
58 agroquímicos tem desempenhado um papel central na agricultura moderna. Contudo, essa
59 prática acarreta sérias consequências ambientais, incluindo a contaminação de recursos
60 hídricos e do solo, perda de biodiversidade, redução da fertilidade do solo e emissões
61 significativas de gases de efeito estufa (Agbodjato e Babalola, 2024). Nesse contexto, as
62 rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs) surgem como uma
63 alternativa biotecnológica promissora, oferecendo benefícios como a redução da
64 dependência de insumos químicos e a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis
65 (Poudel et al., 2021).

66 Os microrganismos do solo conhecidos como RPCPs estabelecem associações
67 benéficas com as plantas, desempenhando funções como a produção de fitohormônios, a
68 solubilização de nutrientes e o aumento da tolerância a estresses bióticos e abióticos
69 (Ramakrishna et al., 2019). São utilizados em inoculantes biológicos para melhorar a
70 produtividade das culturas, pois podem produzir fitohormônios como o ácido indol-3-

71 acético (AIA), que estimula o enraizamento e o alongamento celular (Poveda et al., 2021).
72 Além disso, algumas RPCPs podem produzir sideróforos, moléculas que quelam o ferro
73 (Fe) e o tornam mais acessível para as plantas, ao mesmo tempo em que limitam sua
74 disponibilidade para fitopatógenos, reduzindo a competição com microrganismos
75 fitopatogênicos (Lopes et al., 2021). Essas bactérias também desempenham papel
76 fundamental na biodisponibilização de macronutrientes, como fósforo (P) e potássio (K),
77 frequentemente indisponíveis no solo, e na fixação biológica de nitrogênio atmosférico
78 (FBN), contribuindo para a redução da dependência de fertilizantes químicos (Liu et al.,
79 2016; Moretti et al., 2020).

80 Diversos gêneros bacterianos têm sido amplamente relatados como promotores de
81 crescimento vegetal, incluindo *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Rhizobium* e
82 *Bradyrhizobium* (Lin et al., 2018; Silveira et al., 2019). A coinoculação de rizóbios
83 fixadores de nitrogênio e *Bacillus* tem sido muito estudada, demonstrando resultados
84 promissores em culturas de leguminosas como o feijão comum, feijão-caupi, amendoim,
85 e soja, aumentando a nodulação e a atividade da nitrogenase, assim como rendimento de
86 grãos (Kaschuk et al., 2022).

87 Contudo, a prospecção de novas estirpes com potencial biotecnológico é essencial,
88 especialmente para aplicação em culturas alimentícias como o feijão comum, de modo a
89 garantir práticas agrícolas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
90 (ODS) (Avtar et al., 2020). Apesar dos avanços na pesquisa, a cultura do feijão ainda
91 enfrenta a limitação de um número reduzido de inoculantes biológicos disponíveis no
92 mercado, especialmente quando comparada a outras leguminosas, como a soja (Andreatta
93 et al., 2024). Essa disparidade evidencia a necessidade de investimentos em novas
94 formulações e estudos que visem aprimorar a eficácia dos inoculantes específicos para o
95 feijão.

96 Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo prospectar e identificar
97 rizobactérias com potencial biotecnológico, isoladas de raízes e nódulos de feijão
98 cultivados em solos de Unidades de Conservação no Paraná, incluindo o Parque Estadual
99 do Guartelá (PEG), o Parque Nacional do Iguaçu (PNI) e uma área agrícola em Cafelândia
100 (CAF). A aplicação futura dessas rizobactérias na cultura do feijão comum visa promover
101 uma agricultura sustentável e eficiente, contribuindo para a segurança alimentar e a
102 preservação ambiental.

103

104

105 2.0 MATERIAL E MÉTODOS

106

107 2.1 Local de coleta, amostragem e isolamento de rizobactérias

108

109 Foram coletadas 5 amostras de solo de cada região, em três locais distintos com
110 características diferenciadas quanto ao uso e conservação ambiental. As áreas
111 selecionadas incluem o Parque Nacional de Foz do Iguaçu, PR (PNI) (25.60889°S,
112 54.43090°W) coletado em setembro de 2023; Parque Estadual do Guartelá, no município
113 de Tibagi, PR (PEG) (S24°33'40.4" W50°15'22.8"), coletado em outubro de 2023; ambos
114 pertencentes a Unidades de Conservação. Além disso, amostras foram obtidas em uma
115 propriedade rural no município de Cafelândia (CAF), dedicada à monocultura de soja e
116 milho (24°40'01.56" S, 53°17'28.68" W), coletadas em abril de 2023, compostas de 5
117 amostras de cada região. Para a coleta foi retirado a cobertura da serapilheira e realizado
118 a coleta de 10 à 15 cm do solo.

119 As amostras de solo coletadas foram utilizadas em um experimento de planta-isca,
120 empregando sementes de feijão como modelo para o isolamento de rizobactérias a partir
121 da maceração de raízes e nódulos, seguindo o protocolo descrito por Vincent (1970). Para
122 a maceração dos nódulos e raízes, após 30 dias da montagem do experimento foram
123 utilizados 8 centímetros da raiz, triturados em cadinho pré-estéril com 100 µL de água
124 destilada, inoculadas em triplicatas em placas de Petri, contendo meio sólido seletivo
125 Yeast Mannitol Ágar (YMA) com azul de bromotimol, e meio YMA com vermelho
126 congo, incubadas em B.O.D, durante 7 dias à 28 °C. As bactérias foram caracterizadas
127 conforme Hungria e Silva (2011) incluindo aspectos morfológicos e funcionais.

128

129 2.2 Análise química do Solo

130

131 Para caracterização química do solo, foi enviado uma amostra de cada região para
132 o Laboratório de Análises Agronômicas e Veterinárias (SBS), localizado em Cascavel –
133 PR. Para determinar os teores de macronutrientes, micronutrientes disponíveis no solo,
134 e pH adotou-se a metodologia descrita pela Embrapa (Silva, 2009). Utilizou-se terra fina
135 seca ao ar (TFSA) e empregou-se o extrator de KCl para Ca, Mg e Al, e o extrator Mehlich
136 1 para P, K, Fe, Cu, Zn, Mn. Oxidação através do Extrator dicromato de potássio para a
137 matéria orgânica e carbono orgânico. Extrator acetato de cálcio seguido de titulação para
138 a acidez potencial. As determinações de Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn foram realizadas por

139 espectrometria de absorção atômica com atomização por chama (modelo GBC,
140 SavantAA), enquanto o K foi quantificado por fotometria de chama (Benfer, BFC 150).
141 A quantificação do P ocorreu por espectroscopia UV/Vis, as demais determinações
142 realizadas por titulação. A análise de matéria orgânica (MO) e C (carbono), foram
143 realizadas através da oxidação com o dicamato de potássio.

144

145 **2.3 Avaliação de bactérias fixadoras de Nitrogênio**

146

147 Para a seleção de bactérias com potencial de fixação biológica de nitrogênio
148 (FBN), utilizou-se a metodologia Baldani et al. (2014), com modificações. Os isolados
149 bacterianos foram crescidos em meio líquido Trypticase Soy Broth (TSB) e transferidos
150 100 µL do inóculo para frascos de vidro com 6 mL do meio NFB (NFree Broth). Os
151 experimentos foram realizados em duplicata, incubados em B.O.D durante 8 dias à 28 °C.
152 O resultado positivo foi comprovado pelo crescimento bacteriano e a formação de
153 película na superfície com modificação da cor do meio, indicativo de alteração do pH.

154

155 **2.4 Avaliação de bactérias solubilizadoras de fosfato tricálcico**

156

157 Para a seleção de bactérias solubilizadoras de fosfato tricálcico, foi utilizada a
158 metodologia Nautiyal (1999). O resultado positivo foi caracterizado pela formação de um
159 halo ao redor das colônias (área clara) no meio NBRIP (National Botanical Research
160 Institute`s Phosphate growth medium), suplementado com $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, fonte solúvel de
161 fosfato. O experimento foi realizado em triplicata e incubado em B.O.D durante 15 dias
162 à 28 °C. Foram realizadas avaliações no 3°, 5° e 10° dia de incubação, e os isolados foram
163 classificados de acordo com o tempo de solubilização: precoce: até 3 dias; tardia: após 3
164 dias e não solubilizadoras: sem apresentação de halo até o 15° dia de avaliação. Com base
165 nos índices, os isolados foram classificados por capacidade de solubilização como: baixa
166 (ISB <2), média (ISM >2 <4) e elevada (ISE >4) (Berraquero et al., 1976).

167

168 **2.5 Avaliação de bactérias solubilizadoras de potássio**

169

170 Na avaliação da solubilização K, utilizou-se a metodologia Parmar e Sindhu
171 (2013). O resultado positivo foi caracterizado pela formação de um halo ao redor das
172 colônias (área clara) no meio ALEKSANDROV, suplementado com KCL, fonte solúvel

173 de potássio. O experimento foi realizado em triplicata e incubado em B.O.D durante 15
174 dias à 28 °C. Foram realizadas avaliações no 3°, 5° e 10° dia de incubação, e os isolados
175 foram classificados de acordo com o tempo de solubilização: precoce: até 3 dias; tardia:
176 após 3 dias e não solubilizadoras: sem apresentação de halo até o 15° dia de avaliação.
177 Com base nos índices, os isolados foram classificados por capacidade de solubilização
178 como: baixa (ISB <2), média (ISM>2<4) e elevada (ISE>4) (Berraquero et al., 1976).

179

180 **2.6 Avaliação da Produção de Ácido Indol-3-acético (AIA) com ausência e presença** 181 **de suplementação de L-triptofano**

182

183 Para a avaliação da produção do ácido indol-3-acético (AIA), foi utilizado a
184 metodologia de Gordon e Weber (1951), com modificações. Os isolados bacterianos
185 foram crescidos em meio TSB, e transferidos 100 uL do inóculo (D₀ 600nm = 0,5) em
186 tubos com 4,9 mL do meio TSB (10%), suplementados com 100 µL de L-triptofano e
187 tubos com somente 5 mL de TSB (10%), incubados a 30 °C, por 72 horas, e mantidos em
188 agitador rotativo (180 rpm). Para a quantificação de AIA, os tubos foram centrifugados
189 a 10.000 rpm por 10 minutos e 100 µL do sobrenadante e 100 µL do reagente de
190 Salkowski (preparado com 50 mL de ácido perclórico a 35% e 1 mL de FeCl₃ a 0,5 M)
191 foram transferidos para uma microplaca de 96 poços. As amostras foram preparadas em
192 triplicatas e incubadas no escuro por 30 minutos. A leitura foi realizada em
193 espectrofotômetro a 540 nm, e os resultados comparados a uma curva padrão de AIA
194 comercial (0, a 700 µM).

195

196 **2.7 Produção de Sideróforos**

197

198 Para avaliar a produção de sideróforos, utilizou-se a metodologia de Schwyn e
199 Neilands (1987), com modificações. Os isolados foram crescidos em tubos de ensaio
200 contendo o meio líquido King B, incubados em agitador rotativo a 120 rpm a 28 °C no
201 período de 3, 5 e 7 dias. Os tubos foram centrifugados por 10 minutos a 12.000 rpm e 100
202 µL do sobrenadante e 100 µL do Reagente CAS 1 mM (6 mL HDTMA 10 mM, 1,5 mL
203 de FeCl₃ em HCl 10 mM, 7,5 mL de CAS 2 mM, 4,307 g de Pipes, para 100 mL de água
204 destilada, pH=5,6), foram transferidos em microplaca de 96 poços, em triplicatas,
205 mantidos no escuro por 30 minutos. A leitura foi realizada no espectrofotômetro a 630
206 nm, sendo comparado com a curva padrão de EDTA sódico (0, a 140 uM).

207 **2.8 Identificação das Bactérias**

208

209 **2.8.1 Extração do DNA genômico**

210

211 A identificação das cepas foi realizada a partir do sequenciamento do gene
212 ribossomal 16S. Para tanto, o DNA genômico dos isolados foi extraído utilizando o
213 protocolo proposto por Doyle e Doyle (1987) com modificações. A integridade do DNA
214 foi verificada por meio de gel de agarose a 1% e o DNA quantificado por
215 espectrofotometria no NanoDrop™ One Microvolume UV-Vis (ThermoFisher Scientific,
216 Wilmington, Delaware, USA).

217

218 **2.8.2 Amplificação por PCR e Sequenciamento do DNAr 16S**

219

220 Para amplificação da região do gene DNAr 16S foi utilizado o par de *primers*
221 específico universal com a sequência: Fd1 5'AGAGTTTGATCCTGGCTCAG3' e Rd1
222 5'TACGGYTACCTTGTTACGACTT3', descrito por Weisburg et al (1991). A reação
223 de amplificação foi performada utilizando 10ng de DNA, 1 X de tampão de PCR, com
224 1,0 mM de MgCl₂, 0,25 mM de cada dNTP, 1U de Taq DNA, 10 µM de primer forward e
225 reverse e 10% de DMSO (*dimetilsufóxido*) e água ultrapura para completar o volume final
226 de 25 µL. Os produtos de amplificação foram submetidos a eletroforese em gel de agarose
227 a 1,8% corado com brometo de etídeo utilizando como controle um marcador (*ladder*) de
228 peso molecular conhecido (1kb, Ludwig Biotechnology, Rio Grande do Sul-BR), para
229 confirmar tamanho esperado do fragmento. O material foi purificado com etanol absoluto.

230 As reações de sequenciamento foram performadas individualmente nas regiões
231 forward e reverse pela empresa ACTGene Análises Moleculares LTDA, Alvorada, RS,
232 Brasil), utilizando o método de sequenciamento de término de cadeia Sanger, no sistema
233 de sequenciamento automatizado ABI 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems).

234

235 **2.8.3 Edição das sequências**

236

237 As sequências foram avaliadas quanto ao perfil cromatográfico, e apenas as que
238 apresentaram qualidade significativa foram consideradas para a análise. A chamada de
239 bases, montagem das sequências *contigs* e dos arquivos fasta foi realizada no software
240 BioEdit v. 7.7.1 (<https://bioedit.software.informer.com/>).

241 **2.8.4 Identificação genotípica das cepas**

242

243 A ferramenta de pesquisa *Nucleotide Basic Local Alignment Search Tool*
244 (BLASTn) (Altschul et al., 1990) disponível no *National Center for Biotechnology*
245 *Information* (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) foi utilizada para verificar as homologias
246 com as sequências depositadas no GenBank. Para cada espécie identificada pelo BLAST,
247 foram consideradas as porcentagens de identidade acima de 98% com cepas depositadas
248 seguindo os critérios de aceite do banco. As cepas foram cadastradas no Sistema Nacional
249 de Gestão de Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen)
250 n° AFFA9C7.

251

252 **2.8.5 Identificação filogenética das cepas**

253

254 O alinhamento múltiplo das sequências foi realizado pelo software MAFFT v. 7
255 pelo método iterativo G-INS-i (Kato; Rozewicki; Yamada, 2019). A árvore foi
256 construída com a adição dos acessos compilados do GenBank das espécies
257 representativas que apresentaram identidade e cobertura acima de 90% e duas espécies
258 como *outgroup* (*Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense*).

259 As análises de máxima verossimilhança foram realizadas pela interface
260 IQTREE 2.2.2.6 (Minh et al., 2020). Os modelos evolutivos foram determinados pelo
261 ModelFinder (Kalyaanamoorthy et al., 2017). A análise de *bootstrap* foi realizada
262 utilizando 10000 replicações, e a árvore consenso desenhada e editada pelo software
263 FigTree v1.4.4 (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

264

265 **2.9 Ensaio de germinação de sementes do feijão com inoculação de *Bacillus***

266

267 Utilizou-se sementes comerciais de feijoeiro cultivar BRS FP403 (variedade
268 feijão preto), da safra de 2023/2024 (Lote 666), para avaliação da germinação. As
269 sementes foram desinfestadas e inoculadas seguindo a metodologia de Romagna et al.
270 (2019) com modificações. Dos 90 isolados bacterianos foram selecionados dois mais
271 promissores, *Bacillus safensis* CAF83 e *Bacillus* sp. PNI99 para a avaliação de inoculação
272 nas plantas do feijão. As cepas de bactérias foram cultivadas em meio de cultura líquido
273 (TSB) a 28°C em 150 rpm por 1 dia. Após o período de incubação, as culturas foram
274 ajustadas para absorvância D.O =1, no comprimento de onda de 600 nm, a fim de obter

275 uma concentração de 10^8 UFC mL⁻¹. Dessa suspensão foi utilizado 1 mL para inocular
276 em 100 sementes de feijão, que foram submetidas ao teste de germinação.

277 O teste de germinação foi conduzido em papel germitest, cada tratamento
278 contendo 100 sementes divididas em quatro repetições de 25 sementes, segundo as Regras
279 de Análise de Sementes (RAS, 2009). O tratamento 1, foi composto por sementes de
280 feijão embebidos em água destilada (2,5 vezes o peso do papel seco); o tratamento 2,
281 sementes de feijão inoculadas com 1 mL de *Bacillus safensis* CAF83 em sacos plásticos,
282 onde permaneceram em contato durante 30 minutos, depois foram transferidos para o
283 papel germitest embebidos em água destilada; e o tratamento 3, sementes de feijão
284 inoculadas com 1 mL de *Bacillus* sp. PNI99, embebidos em água destilada. Os rolos de
285 papel germitest foram acondicionados em BOD à 25°C com fotoperíodo de 12 horas,
286 durante nove dias. As variáveis analisadas foram PG% (porcentagem de germinação),
287 IVG (índice de velocidade de germinação), TMG (tempo médio de germinação), MCR
288 (média do comprimento da raiz), MCP (média do comprimento da parte aérea), PSR (peso
289 seco da raiz) e PSP (peso seco da parte aérea). Nos ensaios de germinação das sementes
290 em câmara B.O.D, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado.

291

292 **3.0 Análise Estatística**

293

294 Os dados obtidos dos testes de solubilização de P, K, produção de AIA,
295 sideróforos, e teste de germinação do feijão, foram analisados estatisticamente por meio
296 da Análise de Variância (ANOVA) e as médias foram comparadas utilizando o teste de
297 Tukey a 5% de significância, com o auxílio do software *R Studio*, com o uso dos pacotes:
298 *Agricolae*, *Ggplot2*, *Dplyr*, *Tidyr*, *Car*, *Emmens* e *MultcompView*. O agrupamento
299 hierárquico, da análise de Cluster, foi realizado com o software Statistica versão 13.0.

300

301 **4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

302

303 Foram isoladas e caracterizadas 90 bactérias, sendo 36 provenientes de nódulos e
304 raízes de plantas-iscas (feijão) cultivadas em solos do Parque Estadual do Guartelá
305 (Tabela 1, material suplementar), 38 do Parque Nacional do Iguaçu (Tabela 2, material
306 suplementar) e 16 de Cafelândia (Tabela 3, material suplementar).

307 Esse resultado de isolamento, sugere que a composição das comunidades
308 microbianas é influenciada pela diversidade de plantas hospedeiras, assim como pela

309 cobertura da serrapilheira (Yao et al., 2019) e pelas características químicas do solo de
 310 cada região (Wan et al., 2020). Em Cafelândia, uma região predominantemente dedicada
 311 à monocultura, o solo apresenta pH mais alcalino e maior disponibilidade de nutrientes,
 312 consequência da intensiva correção do solo, contudo, há um número reduzido de plantas
 313 hospedeiras. Em contraste, as Unidades de Conservação possuem solos mais ácidos e com
 314 menor disponibilidade de nutrientes, mas são caracterizadas por uma maior diversidade
 315 de plantas hospedeiras, o que pode favorecer o isolamento de bactérias adaptadas a essas
 316 condições específicas (Tabela 4). Além disso, o bioma Mata Atlântica desempenha um
 317 papel fundamental no equilíbrio dos serviços ecossistêmicos, evidenciando a importância
 318 de se conhecer essa biodiversidade e compreender como as diversas espécies de
 319 microrganismos interagem e sustentam tais serviços (Vezzani, 2025).

320 **Tabela 4.** Análise química dos teores disponíveis do solo em (dm^{-3}) do Parque Nacional
 321 do Iguaçu (PNI), Parque Estadual do Guartelá (PEG) e Cafelândia (CAF).

Locais	pH em CaCl	Al		Ca		Mg		K		Cu mg dm^{-3}	Zn mg dm^{-3}	Mn mg dm^{-3}
		cmolc dm^{-3}	MO g Kg	cmolc dm^{-3}	cmolc dm^{-3}	P mg dm^{-3}	cmolc dm^{-3}	Fe mg dm^{-3}				
PNI	5,47	0	48,92	10,4	2,68	2,43	0,35	17,41	1,87	10,32	141,35	
PEG	3,12	2,94	227,84	0,92	0,56	8,4	0,42	103,22	0,49	3,63	15,38	
CAF	6,17	0	34,18	8,86	5,98	27,22	1,05	18,81	6,36	12,12	209,3	

322 Material utilizado: terra fina seca ao ar (TFSA) - Extrator dicromato de potássio: MO (matéria orgânica); C (carbono)
 323 Extrator cloreto de potássio: Nitrato e Amônio. Métodos: Extrator KCl: Ca, Mg, Al; Extrator Mehlich 1: P, K, Na,
 324 Zn, Fe, Cu, Mn; Extrator BaCl_2 ; Extrator acetato: Acidez potencial (H+Al).

325

326 Dos 90 isolados avaliados, 65,56% foram eficientes na fixação biológica de
 327 nitrogênio (FBN) (Tabela 5, material suplementar). Esses isolados demonstraram a
 328 habilidade de converter N atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas, como
 329 amônia ou nitrato (Rodriguez et al., 2022). A atividade de fixação foi confirmada pela
 330 formação de uma película branca na superfície do meio NFB, característica associada à
 331 aerotaxia. Esse fenômeno ocorre devido ao movimento dos microrganismos aeróbicos
 332 para regiões onde a concentração de oxigênio está em equilíbrio com a taxa de respiração,
 333 resultando na formação de um véu característico (Baldani et al., 2014) (Figura 1).

334

335



336

337 **Figura 1.** Teste de fixação biológica de nitrogênio (FBN) em meio NFB livre de fonte nitrogenada. 1 A:
 338 Isolado PEG21 resultado negativo, sem formação da película; 1 B: Isolado de *Azospirillum brasiliense*
 339 (ABV6); 1 C: Isolado *Bacillus* sp. PEG141; ambos com resultado positivo para fixação de nitrogênio, com
 340 formação da película branca e alteração do pH (azul).

341

342 Houve uma maior incidência de bactérias fixadoras de nitrogênio isoladas de solos
 343 do PNI e CAF, o que sugere que solos mais ácidos diminuem a incidência desses
 344 microrganismos, pois geralmente são sensíveis ao pH do solo (Tabela 1). Essas bactérias
 345 diazotróficas desempenham um papel fundamental na FBN, transformando-o em uma
 346 forma assimilável pelas plantas, o que é crucial para a nutrição vegetal, especialmente em
 347 solos com baixa disponibilidade de N (Masson-Boivin e Sachs, 2018).

348 Na pesquisa de isolamento de bactérias realizada a partir de duas cultivares de
 349 soja, 60% demonstraram capacidade de fixação de N *in vitro*, porcentagem inferior à
 350 observada nos isolados bacterianos de nódulos e raízes de feijão oriundos do PNI, PEG e
 351 CAF (Kuklinsky-Sobral et al., 2004). Esses resultados positivos para plantas da família
 352 Fabaceae podem ser explicados pelo estudo de Ankati e Podile, (2019) que investigou a
 353 rizosfera do amendoim, uma leguminosa semelhante à soja e ao feijão, e evidenciou que
 354 os exsudatos radiculares do amendoim contêm compostos como ácidos carboxílicos,
 355 aminoácidos, ácidos graxos e hidrocarbonetos, os quais promovem a colonização de
 356 rizobactérias e facilitam a formação de nódulos nas plantas, uma interação simbiótica
 357 crucial para a eficiência da FBN.

358 Apesar da facilidade de interação entre rizobactérias e leguminosas, o feijão é
 359 classificado como uma planta promíscua, ou seja, capaz de nodular com diversas espécies
 360 de rizóbios. Isso ocorre devido à sua habilidade de reconhecer diferentes fatores de
 361 nodulação, o que, por sua vez, aumenta a competitividade entre as bactérias inoculadas e
 362 os rizóbios nativos do solo, resultando em uma diminuição na eficiência da FBN (Del
 363 Cerro et al., 2015). Esse fato reforça a necessidade de buscar alternativas ecologicamente
 364 corretas que não apenas reduzam o uso de fertilizantes nitrogenados, mas também
 365 promovam uma interação mais eficiente entre as rizobactérias e o feijão.

366 Os isolados demonstraram capacidade de solubilizar o P, através da formação do
 367 halo transparente no meio sólido NBRIP. Isso ocorre devido à liberação de ácidos

368 orgânicos, enzimas, agentes quelantes e outras substâncias produzidas pelas bactérias,
 369 que favorecem a solubilização do P, tornando-o mais disponível para as plantas (Rawat
 370 et al., 2020). O destaque nos resultados foi para os isolados PEG19 e PNI230 que
 371 apresentaram os maiores valores no 5° dia de avaliação e não diferiram estatisticamente
 372 da *P. fluorescens* (Tabela 6).

373

374 **Tabela 6.** Medidas do diâmetro do halo dos isolados bacterianos formados no meio
 375 NBRIP, para avaliação do Índice de solubilização (IS) de fosfato, avaliados no 3°, 5° e
 376 10° dia.

Bactérias	Solubilização			IS 10°			
	IS 3° dia	(dias)	Classe	IS 5° dia	Classe	Classe	Classe
PEG19	1,45 Aa	Precoce	ISB	1,36 Aa	ISB	1,27 Aa	ISB
PEG6	0 Bb	Tardia	-	1,25 ABa	ISB	1,30 Aa	ISB
PNI233	0 Bb	Tardia	-	1,16 Ba	ISB	0,95 Aa	ISB
PNI115	0 Bb	Tardia	-	1,36 ABa	ISB	1,25 Aa	ISB
PNI240	0 Bb	Tardia	-	1,29 ABa	ISB	1,20 Aa	ISB
PNI230	0 Bb	Tardia	-	1,41 Aa	ISB	1,26 Aa	ISB
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0 Bc	Tardia	-	1,39 Aa	ISB	1,34 Ab	ISB

377

378

379

380

381

IS = índice de solubilização; ISB = índice de solubilização baixa. Letras maiúsculas na coluna indicam diferença na solubilização de P; Letras minúsculas na linha indicam diferença na solubilização de P, entre os dias avaliados (3°, 5° e 10° dia). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). PEG19 *Priestia* sp. PNI233 *Yokenella regensburgei*.

382

383

384

385

386

387

388

A análise hierárquica de agrupamento, resultou na formação de três grupos principais, destacando que os isolados apresentam diferença na solubilização de P. O primeiro grupo foi constituído exclusivamente pelo isolado PEG19, que se posicionou no ramo mais distante do dendrograma. O segundo grupo incluiu o isolado PNI233, enquanto o terceiro grupo agrupou os isolados PNI230, PNI115, PNI240, PEG06 e a cepa controle *Pseudomonas fluorescens*. Esses agrupamentos estão representados no dendrograma da Figura 2, corroborando os dados quantitativos apresentados na Tabela 6.

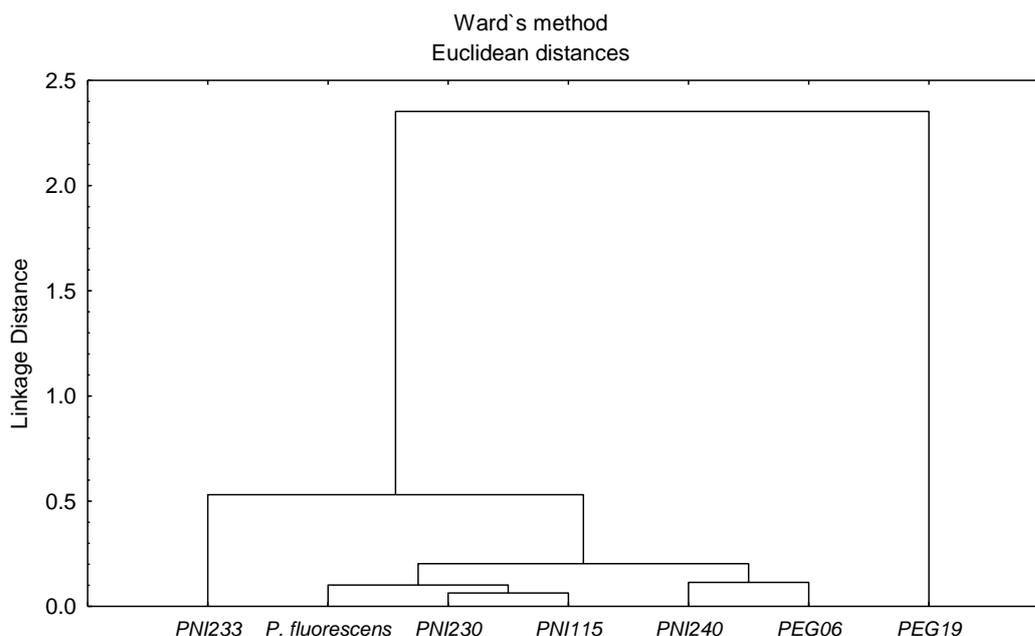


Figura 2. Dendrograma de agrupamento hierárquico de bactérias isoladas de solos do PNI, PEG, e CAF, quanto a solubilização de P, comparadas ao controle *Pseudomonas fluorescens*. PEG19 *Priestia* sp. PNI233 *Yokenella regensburgei*.

Os resultados evidenciam que os isolados bacterianos provenientes das Unidades de Conservação (PNI e PEG), caracterizadas por uma menor disponibilidade de P no solo, apresentam maior incidência de bactérias com capacidade de disponibilizar esse nutriente de forma assimilável para as plantas. Isso sugere uma adaptação dos microrganismos a ambientes naturais com deficiência nutricional, reforçando a importância ecológica dessas cepas. Além disso, esses achados ressaltam os impactos potenciais do uso excessivo de fertilizantes químicos na agricultura, que podem levar a disfunções nos ecossistemas agrícolas e naturais, alterando a dinâmica microbiológica do solo (Yuan et al., 2021).

O P é um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando um papel crucial em processos fisiológicos, como produção de biomassa, desenvolvimento radicular, floração e maturação. No entanto, sua disponibilidade no solo é frequentemente limitada devido a processos biogeoquímicos que influenciam sua dinâmica no solo (Geng et al., 2022; Parra et al., 2022). A utilização de RPCV em inoculantes biológicos surge como uma estratégia promissora para mitigar essa limitação, uma vez que esses microrganismos, por meio da liberação de enzimas e ácidos orgânicos, aumentam a biodisponibilidade do P no solo. Esse efeito pode contribuir significativamente para a produtividade de culturas submetidas a déficit nutricional ou estresse ambiental (Huang et al., 2021).

413 No teste de solubilização de potássio (K), apenas dois isolados (PNI99 e CAF83)
 414 demonstraram capacidade de solubilizar esse nutriente, sendo classificados com
 415 solubilização precoce e índice de solubilização médio (ISM > 2). Diferenças
 416 significativas foram observadas entre os isolados avaliados quando comparados ao
 417 controle *Bacillus subtilis*, apenas no 10º dia de avaliação (Tabela 7).

418

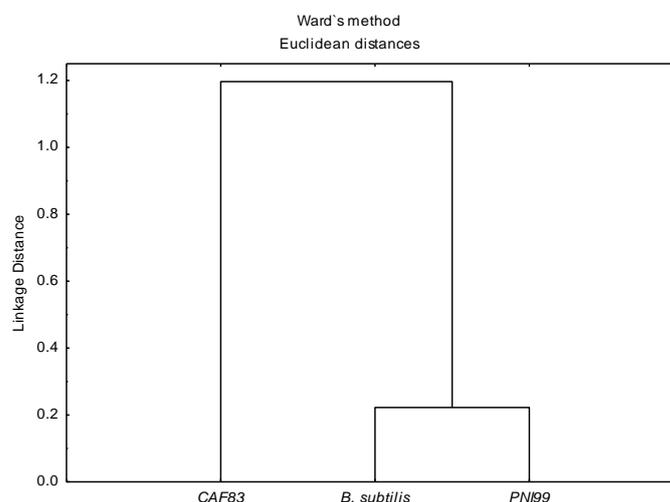
419 **Tabela 7.** Medidas do diâmetro do halo formado no meio Aleksandrov dos isolados, para
 420 avaliação do Índice de solubilização (IS) de potássio, avaliados no 3º, 5º e 10º dia.

Bactérias	Solubilização						
	IS 3º dia	(dias)	Classe	IS 5º dia	Classe	IS 10º dia	Classe
PNI99	2,23	Aa	Precoce	ISM	2,77	Aa	ISM
CAF83	2,46	Aa	Precoce	ISM	3,26	Aa	ISM
<i>Bacillus subtilis</i>	2,17	Ab	Precoce	ISM	2,56	Aa	ISM

421 CAF83 *Bacillus safensis*, PNI99 *Bacillus* sp. IS = índice de solubilização; ISM = índice de solubilização
 422 média. Letras maiúsculas na coluna indicam diferença na solubilização de K, entre as bactérias; Letras
 423 minúsculas na linha indicam diferença na solubilização de K, entre os dias avaliados (3º, 5º e 10º dia).
 424 Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e letras minúsculas na linha, não diferem entre si
 425 pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

426

427 A análise hierárquica de agrupamento revelou dois grupos principais, CAF83 no
 428 ramo mais distante, enquanto PNI99 e *B. subtilis* no mesmo grupo. Esses padrões de
 429 agrupamento são apresentados no dendrograma da Figura 3, o qual corrobora os dados da
 430 Tabela 7.



431

432 **Figura 3.** Dendrograma de agrupamento hierárquico de bactérias isoladas de solos do PNI, PEG, e CAF,
 433 quanto a solubilização de K, comparadas ao controle *Bacillus subtilis*. *Bacillus safensis* CAF83, *Bacillus*
 434 sp. PNI99

435

436 Dessa forma, a eficiência dos microrganismos solubilizadores de potássio (MSKs)
 437 deste estudo *Bacillus safensis* CAF83 e *Bacillus* sp. PNI99, é influenciada por diversos
 438 fatores, incluindo pH, temperatura, tempo de incubação e a natureza das fontes de K

439 utilizadas. Além disso, os mecanismos de solubilização desse nutriente podem variar: a
440 solubilização direta ocorre por meio da liberação de ácidos orgânicos, enquanto a
441 solubilização indireta está associada à quelação de cátions e modificações no pH do
442 ambiente (Sattar et al., 2019). Dessa forma, as características do solo de origem dos
443 isolados, também pode interferir nessa solubilização, através de isolados adaptados a
444 alcalinização ou acidificação do ambiente.

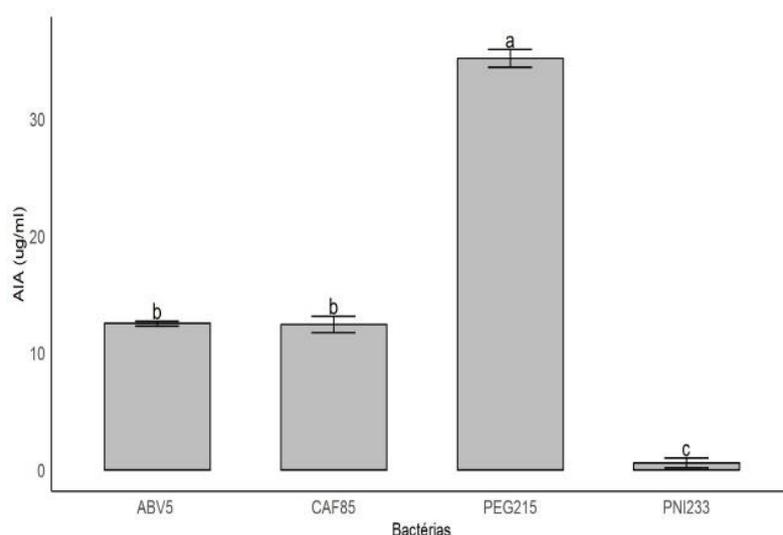
445 O K é o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas, desempenhando funções
446 essenciais no desenvolvimento estrutural e fisiológico, especialmente nas regiões
447 meristemáticas (Sattar et al., 2019). Apesar de ser um elemento abundante no solo, grande
448 parte do K encontra-se em formas não assimiláveis pelas plantas. Dessa forma, o uso de
449 bactérias solubilizadoras de K representa uma estratégia biotecnológica promissora para
450 aumentar a disponibilidade desse nutriente em solos deficientes, reduzindo a dependência
451 de fertilizantes químicos (Haro e Benito, 2019).

452 No ensaio de produção de ácido indol-3-acético (AIA), três isolados
453 demonstraram capacidade de produzir esse fitormônio. Os resultados indicam que houve
454 uma diferença significativa na produção de AIA entre os isolados testados. O isolado
455 PEG215 apresentou a maior produção média ($35,19 \mu\text{g mL}^{-1}$) sendo superior aos isolados
456 CAF85 ($12,44 \mu\text{g mL}^{-1}$) e PNI233 ($0,6 \mu\text{g mL}^{-1}$), bem como em relação ao controle
457 positivo *A. brasiliense* (Ab-V5) ($12,84 \mu\text{g mL}^{-1}$). Todos os isolados produziram AIA por
458 meio de vias metabólicas dependentes de L-Triptofano, o mecanismo mais amplamente
459 relatado na literatura para síntese desse fitormônio (Keswani et al., 2020) ($F_{3,8} = 1914,4$;
460 $p < 0,05$) (Figura 4).

461

462

463



464

465

466

467

468

469

470

Figura 4. Produção de ácido indol-3-acético (AIA) em concentração de $\mu\text{g mL}^{-1}$ pelos isolados: controle *Azospirillum brasiliense* (Ab-V5); de Cafelândia – PR *Yokenella regensburgei* CAF85; Parque Nacional do Iguaçu – PR *Yokenella regensburgei* PNI233 e Parque Estadual do Guartelá – PR (PEG215). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

471

472

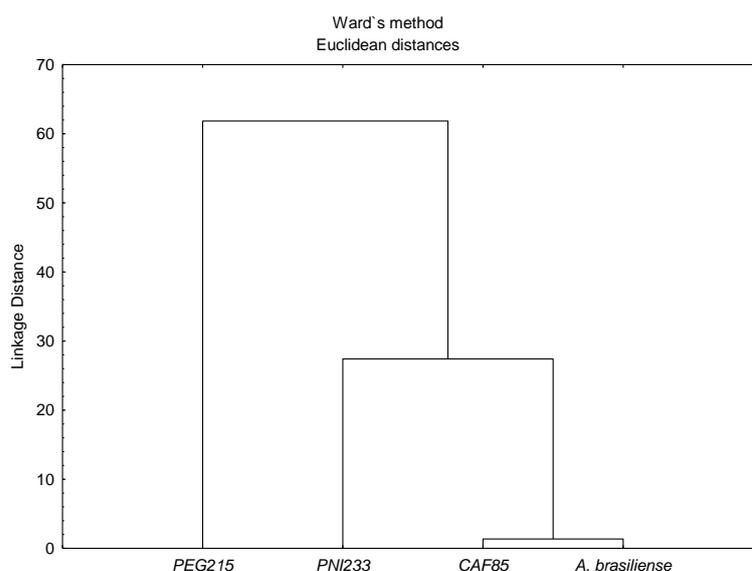
473

474

475

476

A análise hierárquica de agrupamento, referente à produção de AIA, resultou na formação de três grupos principais. O isolado PEG215 posicionou-se no ramo mais distinto. O segundo grupo foi constituído pelo isolado PNI233, enquanto o terceiro grupo agrupou os isolados CAF85 e a cepa controle *Azospirillum brasiliense*. Esses agrupamentos estão representados no dendrograma da Figura 5.



477

478

479

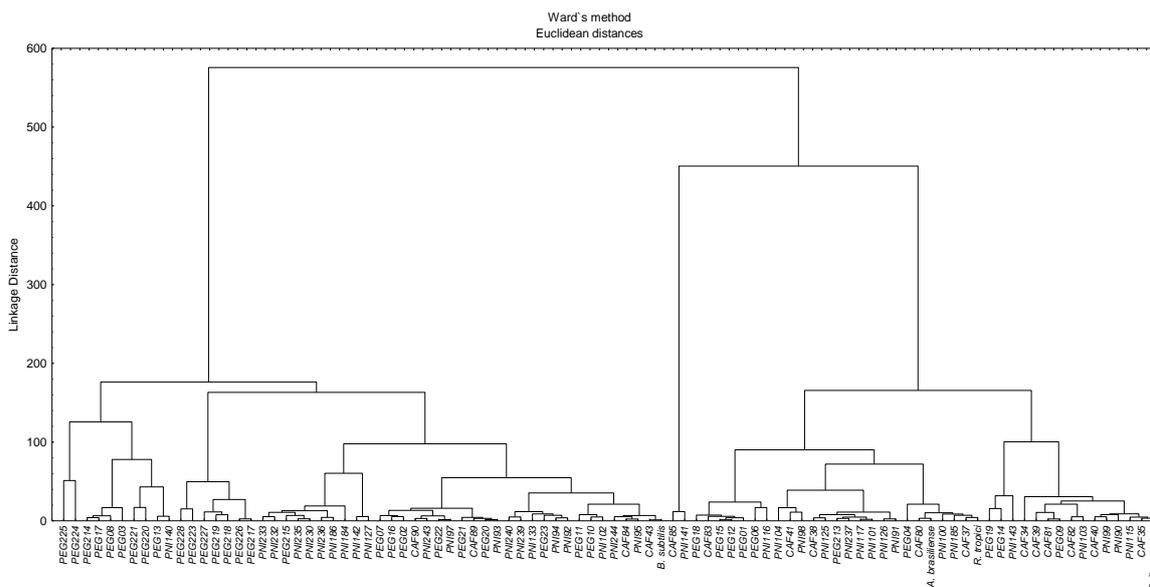
480

Figura 5. Dendrograma de agrupamento hierárquico de bactérias isoladas de solos do PNI, PEG, e CAF, quanto a produção de AIA, comparadas ao controle *Azospirillum brasiliense*. CAF85 *Yokenella regensburgei*, PNI233 *Yokenella regensburgei*.

481 Bactérias diazotróficas do Banco de Germoplasma da FCA/UFAM, ao serem
482 testadas quanto à produção de AIA, demonstraram que o aumento da concentração de L-
483 triptofano estimula a síntese dessa auxina. Os isolados apresentaram uma variação de 2,7
484 $\mu\text{g L}^{-1}$ a 297 $\mu\text{g L}^{-1}$, valores que são inferiores aos obtidos nesta pesquisa, que variaram
485 de 0,6 a 35,19 $\mu\text{g/mL}^{-1}$ (Silva et al., 2024). É importante destacar que altas concentrações
486 de AIA podem ser prejudiciais para algumas plantas, resultando na inibição do
487 crescimento das raízes primárias. Por outro lado, quando mantidas em concentrações
488 adequadas, o AIA pode exercer um efeito benéfico, estimulando o crescimento das
489 plantas, através do alongamento celular, desde a germinação até a senescência (Duca e
490 Glick, 2020; Gomes e Scortecci, 2021).

491 Diante disso, os isolados PEG215, CAF85 e PNI233, que demonstraram a
492 capacidade de produzir ácido indol-3-acético (AIA) por meio de vias dependentes de L-
493 triptofano, apresentam potencial promissor para o desenvolvimento de bioinsumos
494 voltados à promoção do crescimento vegetal. Esses microrganismos podem atuar tanto
495 no estímulo ao desenvolvimento radicular quanto na parte aérea das plantas, contribuindo
496 para o aumento da produtividade agrícola e a redução da dependência de fertilizantes
497 químicos (Jiang et al., 2020).

498 No teste quantitativo de produção de sideróforos, todos os isolados demonstraram
499 capacidade de produzir essa substância, sendo expressas na tabela somente os isolados
500 que apresentaram produções maiores ou iguais aos controles. As concentrações variaram
501 de 70,4 μM a 184,3 μM evidenciando diferenças significativas na produção. Na análise
502 de agrupamento os isolados foram classificados em diferentes grupos, com os ramos mais
503 distintos para o isolado CAF85 e PNI141 (Tabela 8, material complementar; Figura 6).



504 **Figura 6.** Dendrograma de agrupamento hierárquico de isolados bacterianos de solos do PNI, PEG, e CAF,
 505 quanto a produção de sideróforos, comparadas ao controle *B. subtilis*, *P. fluorescens*, *A. brasiliense*, *R.*
 506 *tropici*. CAF83 *Bacillus safensis*, PNI99 *Bacillus* sp. CAF85 *Yokenella regensburgei*, PNI233 *Yokenella*
 507 *regensburgei*, PEG19 *Priestia* sp. PNI141 *Bacillus* sp.
 508
 509

510 Os isolados CAF85 e PNI141 destacaram-se pela elevada produção de
 511 sideróforos, apresentando concentrações de 173,3 μM e 176,5 μM , respectivamente, no
 512 terceiro dia de avaliação. Esses isolados mantiveram valores elevados até o sétimo dia.
 513 Em contraste, o controle *B. subtilis* apresentou concentrações inferiores ao longo de todos
 514 os dias analisados e a *P. fluorescens* apresentou uma produção inicial de 93,6 μM , com
 515 um aumento gradual, alcançando 107,2 μM no sétimo dia (Tabela 8).

516 No trabalho de Batista et al. (2018), a produção de sideróforos por rizobactérias
 517 endofíticas de milho foi avaliada nos intervalos de 24, 48 e 72 horas, com resultados
 518 variando entre 0,56 e 29,16 μM , sendo as maiores produções observadas após 72 horas
 519 de incubação. Quando comparados os resultados de Batista et al. (2018) aos resultados
 520 encontrados neste estudo observou-se que as rizobactérias isoladas da rizosfera do
 521 feijoeiro apresentaram uma produção significativamente superior de sideróforos,
 522 variando de 70,4 μM a 184,3 μM , quando avaliadas em períodos de incubação mais
 523 longos. Esses achados sugerem que tais rizobactérias podem desempenhar um papel
 524 crucial na promoção do crescimento vegetal, tanto ao aumentar a biodisponibilidade de
 525 Fe no solo quanto ao inibir o desenvolvimento de fitopatógenos competidores (Kumar et
 526 al., 2018).

527 Entre os isolados avaliados nos diferentes testes, destacaram-se as cepas CAF83
 528 identificada com 97,80% de similaridade com *Bacillus safensis*, PNI99 com 99,17% e
 529 PNI141 com 100% com *Bacillus* sp., CAF85 98,39% e PNI233 97,99% com *Yokenella*

530 *regensburgei* e PEG19 com 99,57% com *Priestia* sp. Os isolados *Bacillus safensis*
 531 CAF83 e *Bacillus* sp. PNI99, demonstraram um perfil promissor ao combinar FBN,
 532 solubilização de K e produção de sideróforos. Por sua vez, (CAF85 e PNI99) *Yokenella*
 533 *regensburgei* apresentaram capacidades múltiplas incluindo fixação de N, solubilização
 534 de P, produção de AIA e sideróforos. A cepa *Bacillus* sp. PNI141 fixou N, e produziu
 535 sideróforos, enquanto *Priestia* sp. PEG19 solubilizou P e produziu sideróforos (Tabela 9;
 536 Figura 7).

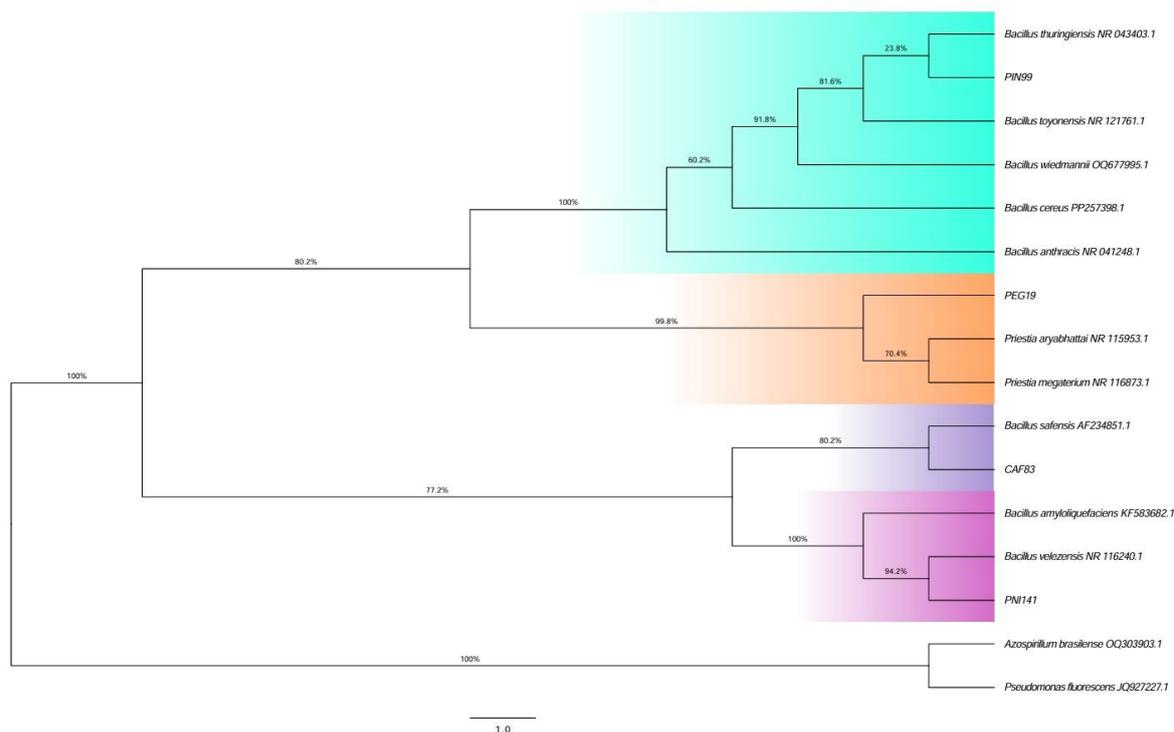
537

538 Tabela 9. Identificação molecular de isolados bacterianos (PEG19, PNI99, PNI141,
 539 PNI233, CAF83, CAF85) através do sequenciamento do gene DNA16s.

ID PLACA	ID GENBANK	% IDENT.	e-value	GÊNERO	ESPÉCIE PROVÁVEL	cod ref genbank
CAF83	<i>Bacillus safensis</i> strain NBRC 100820	97,80%	0.0	<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus safensis</i>	NR_113945.1
CAF85	<i>Yokenella regensburgei</i> strain CIP 105435	98,39%	0.0	<i>Yokenella</i>	<i>Yokenella regensburgei</i>	NR_104934.1
PNI99	<i>Bacillus paranthracis</i> strain MCCC 1A00395	99,17%	0.0	<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus paranthracis</i> ou <i>Bacillus thuringiensis</i>	NR_157728.1
	<i>Bacillus thuringiensis</i> strain IAM 12077	99,17%	0.0			NR_043403.1
PNI233	<i>Yokenella regensburgei</i> strain NBRC 102600	97,99%	0.0	<i>Yokenella</i>	<i>Yokenella regensburgei</i>	NR_114159.1
PNI141	<i>Bacillus velezensis</i> strain L-Jm-3-1-1	100,00%	0.0	<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus velezensis</i> ou <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	NR_116240.1
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> strain ILBB582	100,00%	0.0			NR_041455.1
PEG19	<i>Priestia aryabhatai</i> B8W22	99,57%	0.0	<i>Priestia</i>	<i>Priestia aryabhatai</i> ou <i>Priestia megaterium</i>	NR_115953.1
	<i>Priestia megaterium</i> strain ATCC 14581	99,57%	0.0			NR_116873.1

540 A tabela apresenta os IDs das amostras, as espécies bacterianas identificadas, os percentuais de similaridade
 541 (% Ident), os valores de e-value, e as referências dos códigos do GenBank correspondentes.

542



543

544 **Figura 7.** Identificação filogenética das cepas PNI99 *Bacillus* sp. PEG19 *Priestia* sp. PNI141 *Bacillus* sp.
 545 e CAF83 *Bacillus safensis*. Os valores nos nós representam os valores de *bootstrap* com 1000 replicatas. Os
 546 valores acima de 80% são considerados informativos. As espécies compiladas do GenBank apresentam
 547 seus nomes e respectivos acessos. A árvore foi enraizada utilizando como *outgroup* *Pseudomonas*
 548 *fluorescens*. A barra de escala representa o número de substituições nucleotídicas. O modelo evolutivo
 549 considerado foi TPM3 + G (*Tamura 3-parameter + gamma distribution*). A correspondência de cada
 550 espécie está identificada com as respectivas cores.
 551

552 A espécie *B. safensis* ZY16 já foi relatada como produtora de sideróforos (Wu et
 553 al., 2019), assim como o isolado *Bacillus safensis* CAF83 e *Bacillus amyloliquefaciens*
 554 B14, como produtor de metabólitos secundários (sideróforos) que protegem as plantas de
 555 fitopatógenos, além de auxiliar no crescimento das plantas (Sabaté e Brandán, 2022),
 556 características em comum com a alta produção de sideróforos pelo isolado *Bacillus* sp.
 557 PNI141. *Bacillus thuringiensis*, é uma bactéria que também apresenta grande interesse no
 558 setor agrícola, visto que produz esporos com proteínas inseticidas, usadas para controle
 559 biológico de insetos das ordens Lepidoptera, Diptera e Coleoptera (Rabinovitch, 2017), o
 560 que pode explicar a produção de sideróforos pelo isolado *Bacillus* sp. PNI99.

561 *Priestia aryabattay*, segundo Ahmad et al. (2019) é uma bactéria que aumenta o
 562 fósforo disponível no solo, e a bactéria *Priestia megaterium* (conhecida anteriormente
 563 como *Bacillus megaterium*), é utilizada na agricultura devido sua capacidade de
 564 promoção de crescimento e controle biológico (Choi et al., 2024), atributos que
 565 correspondem com o isolado *Bacillus* sp. PEG19, que solubilizou P e produziu
 566 sideróforos.

567 *Yokenella regensburgei*, uma bactéria gram-negativa pertencente à Ordem
 568 Enterobacterales, tem relatos de patogenicidade e já foi isolada de insetos, répteis e água
 569 de poço (Sahni et al., 2024). Apesar de suas capacidades metabólicas, CAF85 e PNI233
 570 identificadas como *Yokenella regensburgei*, não apresentam relevância imediata para
 571 aplicações agrícolas. Já o gênero *Bacillus* é amplamente relatado por seu potencial de
 572 biocontrole e promoção de crescimento vegetal, além de sua alta sobrevivência em
 573 ambientes adversos devido à formação de endósporos, estruturas de parede espessa que
 574 conferem resistência. Essas características tornam esse gênero especialmente interessante
 575 para a prospecção biotecnológica e sua aplicação na agricultura (Ali et al., 2024).

576 Portanto, os isolados *B. safensis* CAF83 e *B. sp.* PNI99 que apresentaram
 577 capacidades múltiplas nos testes realizados, foram inoculados em sementes de feijão para
 578 avaliação do efeito dessa inoculação. No experimento, observou-se diferença
 579 significativa no parâmetro peso seco da raiz (PSR), com maior valor registrado no
 580 tratamento inoculado com *B. safensis*. No entanto, os parâmetros porcentagem de
 581 germinação (PG%), tempo médio de germinação (TMG), índice de velocidade de
 582 germinação (IVG), média do comprimento da parte aérea (MCP), média do comprimento
 583 da raiz (MCR) e peso seco da parte aérea (PSP) não apresentaram diferenças estatísticas
 584 entre os tratamentos (Tabela 10).

585

586 Tabela 10. Porcentagem de germinação (PG%), tempo médio de germinação (TMG),
 587 índice de velocidade de germinação (IVG), média do comprimento da parte aérea (CMP),
 588 média do comprimento da raiz (CMR), peso seco da parte aérea (PSP) e peso seco da raiz
 589 (PSR) de sementes e plântulas de feijão comum, submetidas a inoculação de bactérias
 590 isoladas de solos do Paraná (T1 = sem inoculação, T2= sementes inoculadas com *Bacillus*
 591 *safensis* e T3= sementes inoculadas com *Bacillus sp.*

	PG%	TMG sementes/dia	IVG	CMP (cm)	CMR (cm)	PSP (mg)	PSR (mg)
T1	93 a	1,77 a	10,73 a	12,74 a	9,17 a	1493 a	182 b
T2	90 a	1,32 a	14,06 a	13,90 a	12,72 ^a	1389 a	258 a
T3	91a	1,54 a	11,54 a	12,09 a	9,84 a	1547 a	219 ab
CV%	4,73	34,47	32,14	13,33	23,85	8,13	9,99

592 Valores acompanhados de letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste
 593 de Tukey a 5% de probabilidade.

594

595 Na coinoculação de rizóbio com *B. megaterium*, observou-se um aumento
 596 significativo no peso seco da parte aérea e da raiz do feijoeiro em comparação com a

597 inoculação exclusiva do rizóbio (Korir et al., 2017). De forma semelhante, a inoculação
598 de diferentes espécies de *Bacillus* em sementes de milho resultou em maior peso seco da
599 raiz e da parte aérea (de Sousa et al., 2021), corroborando os resultados obtidos neste
600 estudo. Esse efeito pode ser atribuído à interação simbiótica entre as bactérias e as raízes,
601 que estimula, de forma direta ou indireta, o crescimento da raiz principal e das raízes
602 secundárias, promovendo a disponibilização de nutrientes e metabólitos essenciais
603 (Agrawal e Bhatt, 2023).

604 O gênero *Bacillus* tem se destacado na inoculação de várias espécies vegetais,
605 incluindo o feijão comum, reafirmando seu potencial como uma alternativa sustentável
606 para o aumento da produtividade agrícola. No estudo de Arslan e Bulut (2023), a
607 inoculação de *Bacillus* sp. (SZF135) em sementes de feijão comum promoveu tanto a
608 germinação quanto o desenvolvimento inicial das plântulas.

609 No entanto, é importante ressaltar que as interações bacterianas com as plantas
610 ocorrem de maneira dinâmica no solo, sendo influenciadas por uma variedade de fatores
611 bióticos e abióticos, como pH, temperatura, composição microbiana, partículas e
612 nutrientes do solo (Domeignoz-Horta et al., 2020). Assim, a exploração e compreensão
613 mais aprofundada desses microrganismos no solo, incluindo o *B. safensis* CAF83, e suas
614 interações com as culturas agrícolas são essenciais para maximizar a produtividade de
615 forma sustentável e ecológica (Agbodjato e Babalola, 2024).

616

617 **5.0 CONCLUSÃO**

618

619 Os solos de Unidades de Conservação e áreas agrícolas revelaram-se verdadeiros
620 reservatórios de biodiversidade microbiana, abrigando microrganismos com potencial
621 transformador para a agricultura. Os isolados bacterianos demonstraram elevado
622 potencial como promotores de crescimento vegetal, com destaque para as cepas *B.*
623 *safensis* CAF83 e *Bacillus* sp. PNI99. A inoculação de *B. safensis* em sementes de feijão
624 resultou em aumento significativo no peso seco da raiz, evidenciando o potencial dessas
625 rizobactérias como alternativas sustentáveis para reduzir o uso de fertilizantes químicos
626 na cultura do feijão. Esses resultados reforçam o valor da biodiversidade microbiana dos
627 solos, e também sugerem que a natureza pode guardar as respostas para alguns dos
628 maiores desafios da agricultura moderna, além de abrir novas perspectivas para
629 investigações futuras, que incluem validações adicionais em condições controladas de
630 casa de vegetação e em experimentos de campo.

631 **Agradecimentos:** Agradecer ao Programa de Pós Graduação em Conservação e Manejo
632 de Recursos Naturais (PPRN), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela
633 oportunidade da pesquisa, ao Laboratório de Microbiologia e Biotecnologia (LAMIBI),
634 pelo espaço para realização dos experimentos.

635

636 **Financiamento:** Este trabalho foi apoiado pela Fundação Araucária por meio do
637 financiamento do projeto NAPI Recursos Genéticos e Biodiversidade e a Capes pela
638 concessão da bolsa.

639

640 **Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de escrita:**
641 Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram o ChatGPT para melhorar a
642 legibilidade e a linguagem do manuscrito. Após usar esta ferramenta, o(s) autor(es)
643 revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade
644 pelo conteúdo do artigo publicado.

645

646 **6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

647 Agbodjato, N.A., Babalola, O.O, 2024. Promoting sustainable agriculture by exploiting
648 plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve maize and cowpea crops. Peer
649 J, 12. Doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.16836>

650 Agrawal, S., Bhatt, A, 2023. Microbial Endophytes: Emerging Trends and
651 Biotechnological Applications. Curr. Microbiol. 80. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00284-023-03349-2>

652

653 Ahmad, M., Adil, Z., Hussain, A., Hussain, A., Mumtaz, M.Z., Jamil, M, 2019. Potential
654 of phosphate solubilizing *bacillus* strains for improving growth and nutrient uptake in
655 mungbean and maize crops. Pak. J. Agric. Sci, 56, 283–289. Doi:
656 10.21162/PAKJAS/19.7285 <http://www.pakjas.com.pk>

657

658 Ali, M.A., Ahmed, T., Ibrahim, E., Rizwan, M., Chong, K. P., Yong, J. H, 2024. A
659 review on mechanisms and prospects of endophytic bacteria in biocontrol of plant
660 pathogenic fungi and their plant growth-promoting activities. Heliyon, 10, 31573. Doi:
661 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31573>

662

663 Altschul, S.F., Gish, W., Miller, W., Myers, E.W., Lipman, D.J, 1990. “Basic local
664 alignment search tool. J. Mol. Biol., 215:403-410. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)

665

666 Andreta, M.F.L., Afonso, L., Niekawa, E.T.G., Salomão, J.M., Basso, K.R., Silva,
667 M.C.D., Alves, L.C., Alarcon, S.F., Parra, M.E.A., Grzegorzcyk, K.G., Chyssafidis, A.L.,
668 Andrade, G, 2024. Microbial Fertilizers: A study on the Current Scenario of Brazilian

- 670 Inoculants and Future Perspectives. *Plants*, 13, 2246.
671 Doi: <https://doi.org/10.3390/plants13162246>
- 672 Ankati, S., Podile, A.R, 2019. Metabolites in the root exudates of groundnut change
673 during interaction with plant growth promoting rhizobacteria in a strain – specific
674 manner. *J. Plant. Physiol.* 243, 1-8. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153057>
- 675 Arslan, M., Bulut, S, 2023. The effects of *Bacillus ssp.* on germination and seedling
676 growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Curr. Trends Nat. Sci.* 12, 23, 160-166.
677 Doi: <https://doi.org/10.47068/ctns.2023.v12i23.017>
- 678
679 Avtar, R., Aggarwal, R., Kharrazi, A., Kumar, P., Kurniawan, T.A, 2020. Utilizing
680 geospatial information to implement SDGs and monitor their Progress. *Environ. Monit.*
681 *Assess.* 192. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7996-9>
- 682
683 Baldani, J.I., Reis, V.M., Videira, S.S., Boddey, L.H., Baldani, V.L.D, 2014. The art of
684 isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid
685 media: a practical guide for microbiologists. *Plant Soil*, 384, 413-431. Doi:
686 <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2186-6>
- 687
688 Batista, F.C., Fernandes, T.A., Abreu, C.S., Oliveira, M.C., Ribeiro, V.P., Gomes, E.A.,
689 Oliveira-Paiva, C.A, 2018. Potencial de microrganismos rizosféricos e endofíticos do
690 milho em solubilizar o fosfato de ferro e produzir sideróforos. *Bol. Pesq. Desenv.* 166.
691 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/183975/1/bol-166.pdf>
- 692
693 Berraquero, F.R., Baya, A.M., Cormenzana, A.R, 1976. Establecimiento de índices para
694 el estudio de la solubilización de fosfatos por bacterias del suelo. *Rev. Fac. Farm. Univ.*
695 *Granada*, 17, 399-406. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/ars/article/view/24869/23257>
- 696
697 Biswas, S., Chatterjee, R., Rai, U., Jana, S.K., Mukhopadhyay, M, 2024. Proclaiming
698 Plant Growth-Promoting and Antifungal Properties of *Pseudomonas lurida* and *Bacillus*
699 *velezensis* Isolated from Rhododendrons of Darjeeling Hills. *Curr Microbiol.*, 81(11),
700 393. Doi: 10.1007/s00284-024-03900-9.
- 701
702 CONAB. Monitoramento agrícola- Safra 2023/2024. Acompanhamento da safra
703 Brasileira de Grãos. Companhia Nacional de Abastecimento, 2024. Disponível em:
704 <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>. Acesso em 12 Dezembro 2025.
- 705
706 Choi, S., Jung, H., Kim, Y., Han, J.A., Kim, E.Y., Lee, H, 2024. Draft genome sequence
707 of *Priestia megaterium* strain IMG3 derived from soil. *Microbiol Resour Announc*, 13,
708 00458-24. Doi: <https://doi.org/10.1128/mra.00458-24>
- 709
710 Del cerro, P., Rolla-Santos, A.A.P., Gomes, D.F., Marks, B.B., Espuny, M.R., Rodríguez-
711 Carvajal, M. A., Soria-Díaz, M.G., Nakatani, A.S., Hungria, M., Ollero, F.J., Megías, M,
712 2015. Opening the “black box” of nodD3, nodD4 and nodD5 genes of *Rhizobium tropici*
713 strain CIAT 899. *BMC Genomics*, 16, 1-10. Doi: [https://doi.org/10.1186/s12864-015-](https://doi.org/10.1186/s12864-015-2033-z)
714 [2033-z](https://doi.org/10.1186/s12864-015-2033-z)
- 715
716 de Sousa, S.M., de Oliveira, C.A., Andrade, D.L., Carvalho, C.G., Ribeiro, V.P., Pastina,
717 M.M., Gomes, E. A, 2021. Tropical *Bacillus* Strains Inoculation Enhances Maize Root

- 718 Surface Area, Dry Weight, Nutrient Uptake and Grain Yield. *J. Plant Growth Regul.* 40,
719 867–877. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>
720
- 721 Domeignoz-Horta, L.A., Pold, G., Liu, X.J. A., Frey, S. D., Melillo, J.M., De-Angelis,
722 K.M, 2020. Microbial diversity drives carbon use efficiency in a model soil. *Nat.*
723 *Commun.* 11, 3684. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17502-z>
724
- 725 Doyle, Jeff J.; Doyle, Jane L, 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities
726 of fresh leaf tissue. *Phytochem. Bull.*
727
- 728 Duca, D.R., Glick, B.R, 2020. Indole-3-acetic acid biosynthesis and its regulation in
729 plant-associated bacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 104, 8607–8619. Doi:
730 10.1007/s00253-020-10869-5
731
- 732 Geng, Y., Pan, S., Zhang, L., Qiu, J., He, K., Gao, H., Tian, D, 2022. Phosphorus
733 biogeochemistry regulated by carbonates in soil. *Environ. Res.* 214, 113894.
734 Doi: 10.1016/j.envres.2022.113894
735
- 736 Gomes, G.L.B., Scortecci, K.C, 2021. Auxin and its role in plant development: structure,
737 signalling, regulation, and response mechanisms. *Plant Biol. (Stuttg)* 23, 894-904. Doi:
738 10.1111/plb.13303
739
- 740 Gordon, S.A., Weber, R.P, 1951. Colorimetric estimation of indol acetic acid. *Plant*
741 *Physiol.* 26, 192-195. Doi 10.1104/pp.26.1.192
742
- 743 Haro, R., Benito, B, 2019. The Role of Soil Fungi in K+ Plant Nutrition. *Int. J. Mol. Sci.*
744 20, 3169. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms20133169>
745
- 746 Huang, Y., Dai, Z., Lin, J., Li, D., Ye, H., Dahlgren, R.A., Xu, J, 2021. Labile carbon
747 facilitated phosphorus solubilization as regulated by bacterial and fungal communities in
748 *Zea mays*. *Soil Biol. Biochem.* 163, 108465. Doi:
749 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108465>
750
- 751 Jiang, Z.F., Liu, D.D., Wang, T.G., Liang, X.L., Cui, Y.H., Liu, Z.H., Li, W.B, 2020.
752 Concentration difference of auxin involved in stem development in soybean. *J. Integr.*
753 *Agric.* 19, (4), 953–964. Doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62676-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62676-6)
754
- 755 Hungria, M., Silva., K, 2011. Manual de Curadores de Germoplasma – Micro-
756 organismos: Rizóbios e Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal. Brasília: Embrapa
757 Recursos Genéticos e Biotecnologia.
758 <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/933488>
759
- 760 Kalyaanamoorthy, S., Minh, B.Q., Wong, T.K.F., Haeseler, A., Jermin, L.S, 2017.
761 ModelFinder: Fast model selection for accurate phylogenetic estimates. *Nat. Methods*, 14
762 (1), 587-589. Doi: <https://doi.org/10.1038/nmeth.4285>
763
- 764 Kaschuk, G., Auler, A.C., Vieira, C.E., Dakora, F.D., Jaiswal, S.K., Cruz, S.P,
765 2022. Coinoculation impact on plant growth promotion: a review and meta-analysis on
766 coinoculation of rhizobia and plant growth-promoting bacilli in grain legumes. *Braz. J.*
767 *Microbiol.* 53, 2027–2037. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00800-7>

- 768 Katoh, K., Rozewicki, J., Yamada, K. D, 2019. Online service: multiple sequence
769 alignment, interactive sequence choice and visualization. *Brief. Bioinform.* 20, (1), 1160-
770 1166. Doi: 10.1093/bib/bbx108.
771
- 772 Keswani, C., Singh, S.P., Cueto, L., García-Estrada, C., Mezaache-Aichour, S., Glare,
773 T.R., Sansinenea, E, 2020. Auxins of microbial origin and their use in agriculture. *Appl.*
774 *Microbiol. Biotechnol.* 104, 8549–8565. Doi: [https://doi.org/10.1007/s00253-020-](https://doi.org/10.1007/s00253-020-10890-8)
775 10890-8
776
- 777 Korir, H., Mungai, N.W., Thuita, M., Hamba, Y., e Masso, C, 2017. Co-inoculation Effect
778 of Rhizobia and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Common Bean Growth in a
779 Low Phosphorus Soil. *Front. Plant Sci.* 8 (141). Doi:
780 <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00141>
781
- 782 Kour, D., Rana, K.L., Entreaberto, N.Y., Yadav, N, 2020. Microbial biofertilizers:
783 bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental
784 sustainability. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 23, 101-487.
785 Doi: 10.1016/j.bcab.2019.101487
786
- 787 Kuklinsky-Sobral, J., Araújo, W.L., Mendes, R., Geraldi, I.O., Pizzirani-Kleiner, A.A.,
788 Azevedo, J.L, 2004. Isolation and characterization of soybean-associated bacteria and
789 their potential for plant growth promotion. *Environ. Microbiol.* 6, (12), 1244–1251.
790 Doi: 10.1111/j.1462-2920.2004.00658.x
791
- 792 Lin, Y., Watts, D., Kloepper, J.W., Torbert, H.A, 2018. Influence of plant growth-
793 promoting rhizobacteria on corn growth under different fertility sources.
794 *Communications in Soil Sci. Plant Anal.* 49, (10), 1239-1255.
795 Doi: 10.1080/00103624.2018.1457155
796
- 797 Liu, Y., Tang, H., Li, H., Zhang, F., Rengel, Z., Whalley, W.R., Shen, J, 2016. Major
798 crop species show differential balance between root morphological and physiological
799 responses to variable phosphorus supply. *Front. Plant Sci.* 7, 1939-1939.
800 Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01939>
801
- 802 Lopes, M.J.S., Santiago, B.S., Silva, I.N.B., Gurgel, E.S.C, 2021. Microbial
803 biotechnology: inoculation, mechanisms of action and benefits to plants *Biotechnología*
804 *microbiana: inoculación, mecanismos de acción y beneficios de las plantas.* *Res. Soc.*
805 *Dev.* 10, (12). Doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20585>
806
- 807 Masson-Boivin, C., Sachs, J.L, 2018. Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia — the roots
808 of a success story. *Curr. Opin. Plant Biol.* 44, 7-15. Doi: 10.1016/j.pbi.2017.12.001
809
- 810 Minh, B.Q., Schmidt, H.A., Chernomor, O., Schrempf, D., Woodhams, M.D., Haeseler,
811 A., Lanfear, R, 2020. IQ-TREE 2: New models and efficient methods for phylogenetic
812 inference in the genomic era. *Mol. Biol. Evol.* 37, (1), 530-1534. Doi:
813 10.1093/molbev/msaa015
814
- 814 Moretti, L.G., Crusciol, C.A.C., Kuramae, E.E., Bossolani, J.W., Moreira, A., Costa,
815 N.R., Hungria, M, 2020. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity,
816 plant development, and yield. *Agron. J.* 112, (1), 418-428. Doi:
817 <https://doi.org/10.1002/agj2.20010>

- 818 Nautiyal, C. S, 1999. An efficient microbiological growth medium for screening
819 phosphate solubilizing microorganisms. FEMS Microbiol. Lett. 170, 265- 270. Doi:
820 <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x>
821
- 822 Parmar, P., Sindhu, S.S, 2013. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence
823 of nutritional and environmental conditions. J. Microbiol. Res. 3 (1), 25-31. Doi:
824 [10.5923/j.microbiology.20130301.04](https://doi.org/10.5923/j.microbiology.20130301.04)
825
- 826 Parra, J.S., Souza, Z.M., Oliveira, S.R.M., Vieira, C.V, 2022. Phosphorus adsorption
827 prediction through Decision Tree Algorithm under different topographic conditions in
828 sugarcane fields. Catena, [S.L.], 213, 106114. Doi: [10.1016/j.catena.2022.106114](https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106114)
829
- 830 Poudel, M., Mendes, R., Costa, L.A.S., Bueno, C.G., Meng, Y., Folimonova, S.Y.,
831 Martins, S.J, 2021. The role of plant-associated bacteria, fungi, and viruses in drought
832 stress mitigation. Front. Microbiol. 12, 743512. DOI:
833 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.743512>.
834
- 835 Poveda, J., Eugui, D., Abril-Urias, P., Velasco, P, 2021. Endophytic fungi as direct plant
836 growth promoters for sustainable agricultural production. Symbiosis, 85, (1), 1-19. Doi:
837 <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00789-x>
838
- 839 Pradhan, S., Choudhury, A., Dey, S., Hossain, M.F., Saha, A., Saha, D, 2023.
840 Siderophore-producing *Bacillus amyloliquefaciens* BM3 mitigate arsenic contamination
841 and suppress *Fusarium* wilt in brinjal plants. J. Appl. Microbiol. 134 (10), 217. Doi:
842 [10.1093/jambio/lxad217](https://doi.org/10.1093/jambio/lxad217).
843
- 844 Rabinovitch, L., Vivoni, A.M, Machado, V., Knaak, N., Berlitz, D.L., Polanczyk, R.A
845 Fiuza, L.M, 2017. *Bacillus thuringiensis* characterization: morphology, physiology,
846 biochemistry, pathotype, cellular, and molecular aspects. Springer, Cham, 1-18. Doi:
847 http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-56678-8_1
848
- 849 Ramakrishna, W., Yadav, R., Li, K, 2019. Plant growth promoting bacteria in agriculture:
850 two sides of a coin. Appl. Soil Ecol. (138), 10-18. Doi:
851 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.019>
852
- 853 RAS - Regras para análise de sementes: / Ministério da Agricultura, Pecuária e
854 Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : Mapa/ACS, 2009
855
- 856 Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D., Shankhdhar, S.C, 2020. Phosphate-Solubilizing
857 Microorganisms: Mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. J. Soil
858 Sci. Plant Nutr. Doi: [10.1007/s42729-020-00342-7](https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7)
859
- 860 Rodriguez, A.C., Martinez, M.E.R., Miranda, C.A.L., Ortíz, J.M.G., Salazar, S.F. M,
861 2022. Simple and sensitive spectrophotometric method for estimating the nitrogen-fixing
862 capacity of bacterial cultures. MethodsX, 9, 1-5. Doi: [10.1016/j.mex.2022.101917](https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101917)
863
- 864 Romagna, I.S., Junges, E., Karsburg, P.A., Pinto, S.Q, 2019. Bioestimulantes em
865 sementes de olerícolas submetidos a teste de germinação e vigor. Scientia plena, 15, 10,
866 100201. Doi: [10.14808/sci.plena.2019.100201](https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.100201)
867

- 868 Sabaté, D.C; e Brandán, C.P, 2022. *Bacillus amyloliquefaciens* strain enhances
869 rhizospheric microbial growth and reduces root and stem rot in a degraded agricultural
870 system. *Rhizosphere*, 22, 100544. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100544>
871
- 872 Sahni R.D., Aravind, V., Suji T, Sheeba V,A., Jayanth S.T, 2024. Complete genome
873 sequence of *Yokenella regensburgei* isolated from a patient with urinary tract infection in
874 India. *Microbiol. Resour. Announc.* 13, 01162-23. Doi:
875 <https://doi.org/10.1128/mra.01162-23>
876
- 877 Schwyn, B., Neilands, J.B, 1987. Universal chemical assay for the detection and
878 determination of siderophores. *Anal. Biochem.* 160, (1), 47-56. Doi: 10.1016/0003-
879 2697(87)90612-9
880
- 881 Silva, F. C. D. A. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. [s.l.]
882 Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
883 Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/256766/manual-de-analises-quimicas-de-solos-plantas-e-fertilizantes)
884 [/publicacao/256766/manual-de-analises-quimicas-de-solos-plantas-e-fertilizantes](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/256766/manual-de-analises-quimicas-de-solos-plantas-e-fertilizantes)
885
- 886 Silva, S. M., Hara, F.A.S., Viana, I. D.V., Junior, W.A.M., Muller, N., Souza, T.W.S.,
887 Mourão, M.J.P.S, 2024. Avaliação da capacidade de produção de ácido indolacético
888 (AIA) por isolados de rizóbios provenientes do Banco de Germoplasma da FCA/UFAM.
889 *Braz. J.Dev.* 10, (5), 01-14. Doi: 10.34117/bjdv10n5-057
890
- 891 Silveira, A.P.D., Iório, R.P.F., Marcos, F.C.C., Fernandes, A.O., Souza, S.A.C.D.,
892 Kuramae, E. E., Cipriano, M.A.P, 2019. Exploitation of new endophytic bacteria and their
893 ability to promote sugarcane growth and nitrogen nutrition. *Antonie van Leeuwenhoek.*
894 *Int. J. Gen. Mol. Microbiol.* 112, (2), 283-295. Doi: 10.1007/s10482-018-1157-y
895
- 896 Smith P, 2018. Managing the global land resource. *Proc. R. Soc B: Biol. Sci.*
897 285(1874):2017-2798. Doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2798>
898
- 899 Vezzani, F, 2015. Solos e serviços ecossistêmicos. *Rev. Bras. Geogr. Fís.* 8.
900 Doi: 10.26848/rbgf.v8.0.p673-684
901
- 902 Vincent, J. M, 1970. Manual for the practical study of root nodule bacteria. Oxford:
903 Blackwell Scientific Publications, 164 p.
904
- 905 Wan, W., Hao, X., Xing, Y., Liu, S., Zhang, X., Li, X., Huang, Q, 2020. Spatial
906 differences in soil microbial diversity caused by pH-driven organic phosphorus
907 mineralization. *Land Degrad. Dev.* 32, 766-776. Doi: 10.1002/ldr.3734
908
- 909 Weisburg, W.G., Barns, S.M., Pelletier, D.A., Lane, D.J, 1991. 16S ribosomal DNA
910 amplification for phylogenetic study. *J Bacteriol.* 173, (2), 697-703. Doi:
911 10.1128/jb.173.2.697-703.1991
912
- 913 Wu, T., Xu, J., Liu, J., Guo, W.H., Li, X.B., Xia, J.B., Wang, R.Q, 2019. Characterization
914 and Initial Application of Endophytic *Bacillus safensis* Strain ZY16 for Improving
915 Phytoremediation of Oil-Contaminated Saline Soils. *Front. Microbiol.* 10, 01-09. Doi:
916 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00991>
917

- 918 Yao, H., Sun, X., He, C., Maitra, P., Li, X.C., Guo, L.D, 2019. Phyllosphere epiphytic
919 and endophytic fungal community and network structures differ in a tropical mangrove
920 ecosystem. *Microbiome* 7 (1), 57. Doi: 10.1186/s40168-019-0671-0
921
- 922 Yuan, M.M., Guo, X., Wu, L., Zhang, Y., Xiao, N., Ning, D., Shi, Z., Zhou, X., Wu, L.,
923 Yang, Y., Tiedje, J.M., Zhou, J, 2021 . “Climate warming enhances microbial network
924 complexity and stability.” *Nat. Clim. Chang*, 11, 343-348. Doi:
925 <https://doi.org/10.1038/s41558-021-00989-9>

Tabela 1. Características morfológicas das bactérias isoladas de nódulos e raízes de feijão, cultivadas em solos coletados do Parque Estadual do Guartelá – PR.

Identificação	Crescimento (dias)	Gram + ou -	Morfologia Gram	Morfologia da colônia	YMA/azul de bromotimol	YMA/vermelho congo	Elevação da colônia	Borda da Colônia	Superfície da colônia	Produção de muco	Consistência da massa de crescimento
PEG1	Rápido	-	Coco	Circular	Neutro	Rosado	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG2	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PEG3	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG4	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG6	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Pouca	Aquosa
PEG7	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Neutro	Branco	Lenticular	Lobada	Lisa	Pouca	Aquosa
PEG8	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG9	Rápido	+	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Pouca	Aquosa
PEG10	Rápido	+	Bacilo	Circular	Ácido	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Gomosa
PEG11	Rápido	+	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Pouca	Aquosa
PEG12	Rápido	-	Bacilo	Circular	Alcalino	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Pouca	Aquosa
PEG13	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Pouca	Gomosa
PEG14	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Convexa	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PEG15	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PEG16	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG17	Rápido	-	Bacilo	Circular	Alcalino	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG18	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG19	Rápido	+	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG20	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Gomosa
PEG21	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG22	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PEG23	Rápido	+	Coco	Circular	Neutro	Branco	Convexa	Inteira	Lisa	Moderada	Viscosa
PEG213	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PEG214	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PEG215	Rápido	+	Coco	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PEG217	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Convexa	Inteira	Lisa	Abundante	Aquosa
PEG218	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Convexa	Inteira	Lisa	Abundante	Aquosa
PEG219	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Convexa	Inteira	Lisa	Abundante	Aquosa
PEG220	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Alcalino	Branco	Convexa	Ondulada	Lisa	Abundante	Gomosa
PEG221	Rápido	-	Bacilo	Circular	Alcalino	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Escassa	Aquosa
PEG223	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Escassa	Gomosa
PEG224	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Alcalino	Branco	Plana	Lobada	Lisa	Escassa	Seca

PEG225	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Escassa	Aquosa
PEG226	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Escassa	Aquosa
PEG227	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Neutro	Rosado	Lenticular	Ondulada	Lisa	Escassa	Seca
PEG228	Rápido	+	Coco	Irregular	Ácido	Rosado	Convexa	Ondulada	Lisa	Moderada	Aquosa

Tabela 2. Características morfológicas das bactérias isoladas de nódulos e raízes de feijão, cultivadas em solos coletados do Parque Nacional do Iguaçu – PR.

Identificação	Crescimento (dias)	Gram + ou -	Morfologia Gram	Morfologia Colônia	YMA/azul de bromotimol	YMA/vermelho congo	Elevação da colônia	Borda da colônia	Superfície da colônia	Produção de muco	Consistência da massa de crescimento
PNI90	Rápido	+	Bacilo	Irregular	Neutro	Vermelho	Plana	Ondulada	Rugosa	Escassa	Seca
PNI91	Rápido	+	Bacilo	Irregular	Neutro	Vermelho	Plana	Ondulada	Lisa	Escassa	Seca
PNI92	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Plana	Ondulada	Lisa	Escassa	Seca
PNI93	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI94	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI95	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Plana	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PNI97	Rápido	-	Bacilo	Circular	Alcalino	Vermelho	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI98	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Ácido	Rosado	Plana	Ondulada	Lisa	Escassa	Seca
PNI99	Rápido	+	Bacilo	Irregular	Neutro	Rosado	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI100	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Neutro	Branco	Plana	Ondulada	Lisa	Escassa	Seca
PNI101	Rápido	-	Bacilo	Circular	Ácido	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI102	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Ácido	Branco	Plana	Ondulada	Lisa	Escassa	Seca
PNI103	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI104	Rápido	+	Bacilo	Circular	Alcalino	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PNI115	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Alcalino	Vermelho	Plana	Ondulada	Lisa	Escassa	Seca
PNI116	Rápido	+	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI117	Rápido	+	Bacilo	Circular	Ácido	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI125	Rápido	+	Bacilo	Irregular	Neutro	Rosado	Plana	Ondulada	Lisa	Escassa	Seca
PNI126	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Neutro	Branco	Plana	Ondulada	Lisa	Escassa	Aquosa
PNI127	Rápido	-	Bacilo	Circular	Alcalino	Vermelho	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI133	Rápido	+	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PNI140	Rápido	-	Bacilo	Circular	Ácido	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Gomosa
PNI141	Rápido	+	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Gomosa
PNI142	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Lenticular	Inteira	Lisa	Pouca	Aquosa
PNI143	Rápido	-	Bacilo	Circular	Alcalino	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Pouca	Aquosa
PNI184	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Neutro	Branco	Convexa	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
PNI185	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Neutro	Vermelho	Plana	Filamentosa	Papilada	Pouca	Seca
PNI186	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Gomosa
PNI230	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Neutro	Rosado	Plana	Inteira	Lisa	Moderada	Gomosa
PNI232	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Escassa	Aquosa
PNI233	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Convexa	Inteira	Lisa	Escassa	Aquosa
PNI235	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Escassa	Aquosa

PNI236	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI237	Rápido	+	Bacilo	Irregular	Neutro	Branco	Lenticular	Ondulada	Lisa	Escassa	Gomosa
PNI239	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Plana	Inteira	Lisa	Escassa	Seca
PNI240	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Neutro	Branco	Lenticular	Ondulada	Lisa	Moderada	Gomosa
PNI243	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Neutro	Branco	Lenticular	Ondulada	Lisa	Escassa	Aquosa
PNI244	Rápido	+	Bacilo	Irregular	Neutro	Branco	Lenticular	Ondulada	Lisa	Escassa	Aquosa

Tabela 3. Características morfológicas das bactérias isoladas de nódulos e raízes de feijão, cultivadas em solos coletados de Cafelândia - PR.

Identificação	Crescimento (dias)	Gram + ou -	Morfologia Gram	Morfologia Colônia	YMA/azul de bromotimol	YMA/vermelho congo	Elevação da colônia	Borda da colônia	Superfície da colônia	Produção de muco	Consistência da massa de crescimento
CAF34	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Pouca	Gomosa
CAF35	Rápido	+	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Lenticular	Inteira	Lisa	Pouca	Gomosa
CAF37	Rápido	-	Coco	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa
CAF38	Rápido	+	Bacilo	Irregular	Alcalino	Branco	Plana	Ondulada	Rugosa	Moderada	Seca
CAF39	Rápido	+	Bacilo	Irregular	Alcalino	Branco	Plana	Ondulada	Rugosa	Pouca	Seca
CAF40	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Alcalino	Branco	Plana	Ondulada	Rugosa	Pouca	Seca
CAF41	Rápido	-	Bacilo	Irregular	Alcalino	Branco	Plana	Ondulada	Rugosa	Pouca	Seca
CAF43	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Ondulada	Lisa	Pouca	Aquosa
CAF80	Rápido	-	Bacilo	Circular	Ácido	Branco	Convexa	Inteira	Lisa	Moderada	Viscosa
CAF81	Rápido	+	Bacilo	Circular	Neutro	Avermelhado (centro)	Convexa	Inteira	Lisa	Moderada	Viscosa
CAF82	Rápido	+	Bacilo	Circular	Ácido	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Viscosa
CAF83	Rápido	+	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Convexa	Inteira	Lisa	Moderada	Viscosa
CAF84	Rápido	+	Bacilo	Circular	Ácido	Rosado	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Viscosa
CAF85	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Rosado	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Viscosa
CAF89	Rápido	-	Bacilo	Circular	Alcalino	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Viscosa
CAF90	Rápido	-	Bacilo	Circular	Neutro	Branco	Lenticular	Inteira	Lisa	Moderada	Aquosa

Tabela 5. Bactérias isoladas de raízes e nódulos de plantas-iscas (feijão) do Parque Estadual do Guartelá (PEG), Parque Nacional do Iguaçu (PNI) e Cafelândia (CAF). Testes realizados: fixação biológica de nitrogênio (FBN), solubilização de fosfato (SP), solubilização de potássio (SK), produção de ácido indol-3- acético (AIA), produção de sideróforos (SID), sendo - (negativo) e + (positivo).

ID	FBN	SP	SK	AIA	SID
PEG1	-	-	-	-	+
PEG2	-	-	-	-	+
PEG3	-	-	-	-	+
PEG4	-	-	-	-	+
PEG6	-	+	-	-	+
PEG7	+	-	-	-	+
PEG8	+	-	-	-	+
PEG9	-	-	-	-	+
PEG10	+	-	-	-	+
PEG11	-	-	-	-	+
PEG12	-	-	-	-	+
PEG13	-	-	-	-	+
PEG14	-	-	-	-	+
PEG15	-	-	-	-	+
PEG16	-	-	-	-	+
PEG17	-	-	-	-	+
PEG18	-	-	-	-	+
PEG19	-	+	-	-	+
PEG20	-	-	-	-	+
PEG21	-	-	-	-	+
PEG22	-	-	-	-	+
PEG23	-	-	-	-	+
PEG213	+	-	-	-	+
PEG214	-	-	-	-	+
PEG215	+	-	-	+	+
PEG217	+	-	-	-	+
PEG218	-	-	-	-	+
PEG219	+	-	-	-	+
PEG220	+	-	-	-	+
PEG221	+	-	-	-	+
PEG223	+	-	-	-	+
PEG224	+	-	-	-	+
PEG225	+	-	-	-	+
PEG226	+	-	-	-	+
PEG227	+	-	-	-	+
PEG228	+	-	-	-	+
PNI90	+	-	-	-	+
PNI91	+	-	-	-	+
PNI92	+	-	-	-	+
PNI93	+	-	-	-	+
PNI94	+	-	-	-	+

PNI95	+	-	-	-	+
PNI97	+	-	-	-	+
PNI98	+	-	-	-	+
PNI99	+	-	+	-	+
PNI100	+	-	-	-	+
PNI101	+	-	-	-	+
PNI102	+	-	-	-	+
PNI103	+	-	-	-	+
PNI104	+	-	-	-	+
PNI115	-	+	-	-	+
PNI116	+	-	-	-	+
PNI117	+	-	-	-	+
PNI125	+	-	-	-	+
PNI126	+	-	-	-	+
PNI127	+	-	-	-	+
PNI133	+	-	-	-	+
PNI140	+	-	-	-	+
PNI141	+	-	-	-	+
PNI142	+	-	-	-	+
PNI143	+	-	-	-	+
PNI184	+	-	-	-	+
PNI185	+	-	-	-	+
PNI186	+	-	-	-	+
PNI230	-	+	-	-	+
PNI232	+	-	-	-	+
PNI233	+	+	-	+	+
PNI235	+	-	-	-	+
PNI236	-	-	-	-	+
PNI237	+	-	-	-	+
PNI239	-	-	-	-	+
PNI240	-	+	-	-	+
PNI243	-	-	-	-	+
PNI244	-	-	-	-	+
CAF34	-	-	-	-	+
CAF35	+	-	-	-	+
CAF37	-	-	-	-	+
CAF38	+	-	-	-	+
CAF39	+	-	-	-	+
CAF40	+	-	-	-	+
CAF41	+	-	-	-	+
CAF43	+	-	-	-	+
CAF80	+	-	-	-	+
CAF81	+	-	-	-	+
CAF82	+	-	-	-	+
CAF83	+	-	+	-	+
CAF84	+	-	-	-	+

CAF85	+	-	-	+	+
CAF89	+	-	-	-	+
CAF90	-	-	-	-	+

Isolados bacterianos positivos (+) e negativos (-), para os testes de FBN, SP, SK, AIA e sideróforos.

Tabela 8. Produção de sideróforos (μM) pelos isolados bacterianos avaliados em diferentes períodos de incubação: 72, 120 e 168 horas.

Bactérias	72	120	168
PNI141	176,5 Aa	170,4 Aa	173,0 Aa
CAF85	173,3 Aa	169,9 Aa	184,3 Aa
CAF34	114,6 Ba	87,2 Bb	112,9 Ba
PEG03	111,3 Ba	73,5 Bb	83,4 Bb
CAF39	110,4 Ba	100,2 Ba	107,2 Ba
PEG08	106,8 Ba	83,4 Bb	85,3 Bb
PEG09	106,7 Ba	104,9 Ba	114,8 Ba
CAF81	106,6 Ba	103,5 Ba	112,9 Ba
PNI98	103,1 Ba	93,1 Ba	93,7 Ba
CAF40	102,6 Ba	97,3 Ba	107,2 Ba
PEG17	101,9 Ba	84,6 Ba	86,1 Ba
PNI90	101,0 Ba	105,4 Ba	109,6 Ba
PEG214	100,7 Ba	81,1 Bb	84,3 Bab
PNI99	100,3 Ba	101,6 Ba	105,3 Ba
PNI104	99,1 Ba	100,0 Ba	79,0 Bb
CAF82	98,2 Ba	99,4,9 Ba	100,0 Ba
PNI103	97,7 Ba	105,7 Ba	114,8 Ba
CAF35	97,4 Ba	100,7 Ba	107,3 Ba
PNI117	97,2 Ba	97,6 Ba	102,8 Ba
PNI91	97,1 Ba	101,4 Ba	100,9 Ba
PNI126	97,0 Ba	103,4 Ba	102,5 Ba
PNI115	96,7 Ba	102,1 Ba	111,0 Ba
PNI101	96,2 Ba	96,2 Ba	101,8 Ba
CAF41	94,3 Ba	99,6 Ba	92,2 Ba
PNI237	94,1 Ba	95,3 Ba	101,9 Ba
PEG213	93,7 Ba	97,2 Ba	99,4 Ba
PNI125	93,7 Ba	99,2 Ba	105,4 Ba
PNI185	93,5 Ba	83,8 Ba	102,2 Ba
PNI232	93,1 Ba	72,4 Bb	98,4 Ba
PEG23	93,0 Ba	83,0 Ba	85,3 Ba
PNI244	93,0 Ba	86,7 Ba	94,9 Ba
CAF80	92,7 Ba	88,8 Ba	106,1 Ba
CAF38	92,7 Ba	100,00 Ba	101,8 Ba
PNI240	92,0 Ba	87,8 Ba	89,0 Ba
PNI143	91,5 Ba	93,3 Ba	94,7 Ba
PNI233	91,4 Bab	73,2 Bb	103,4 Ba
PEG13	91,2 Ba	72,1 Ba	72,3 Ba
PNI184	90,5 Ba	70,4 Bb	87,6 Bab
CAF37	89,7 Ba	87,0 Ba	102,3 Ba
CAF84	89,6 Ba	86,5 Ba	98,3 Ba
PNI239	89,1 Ba	91,4 Ba	87,3 Ba

PNI92	89,0 Ba	84,6 Ba	90,4 Ba
PNI95	88,8 Ba	86,1 Ba	96,2 Ba
PNI94	88,5 Ba	80,9 Ba	89,4 Ba
PEG215	88,1 Bab	72,3 Bb	94,5 Ba
PNI230	88,0 Bab	75,4 Bb	98,1 Ba
PNI116	87,8 Bb	108,5 Ba	89,6 Bab
PNI140	87,8 Ba	77,0 Ba	72,5 Ba
CAF43	87,7 Ba	85,1 Ba	94,9 Ba
CAF83	87,6 Ba	93,0 Ba	98,7 Ba
<i>P. fluorescens</i>	93,6 Bb	95,9 Bab	107,2 Ba
<i>Ab-V5</i>	91,3 Ba	90,4 Ba	108,6 Ba
<i>SEMIA 4077</i>	90,5 Ba	90,9 Ba	100,8 Ba
<i>B. subtilis</i>	87,3 Ba	83,9 Ba	94,3 Ba

Controles: *P.fluorescens* = *Pseudomonas fluorescens*; *Ab-V5* = *Azospirillum brasilense*; *SEMIA 4077* = *Rhizobium tropici*; *B.subtilis* = *Bacillus subtilis*; Letras maiúsculas indicam diferença estatística entre as bactérias e os controles; Letras minúsculas nas linhas indicam diferença significativa entre os tempos avaliados (72, 120 e 168 horas), na produção de sideróforos. Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

ANEXO I

Normas da Revista

Applied Soil Ecology ISSN: 0929-1393

Qualis: A1, Fator de Impacto: 4,8 CiteScore: 9.7

Objetivos e escopo

Applied Soil Ecology aborda o papel dos **organismos do solo** e suas interações em relação a: **produtividade agrícola, ciclagem de nutrientes** e outros **processos do solo**, manutenção da **estrutura do solo**, sustentabilidade e fertilidade, impacto das atividades humanas e xenobióticos na **biota do solo** e **controle bio(tecno)lógico** de pragas e doenças que habitam o solo. No geral, o periódico considera estudos que tratam do envolvimento de organismos do solo na **saúde do solo**, fertilidade do solo e sustentabilidade, tanto em ambientes administrados por humanos (ou seja, sistemas agrícolas e florestais) quanto em ambientes (semi)naturais. Estudos focados predominantemente em respostas de plantas sem foco suficiente em organismos do solo, como mencionado acima, geralmente não são considerados em *Applied Soil Ecology*.

As disciplinas abrangidas incluem as seguintes, sendo dada preferência a artigos que sejam interdisciplinares e integrem duas ou mais destas disciplinas:

- microbiologia do solo e ecologia microbiana
- zoologia e ecologia de invertebrados do solo
- ecologia de raízes e rizosfera
- ciência do solo
- biotecnologia do solo
- ecotoxicologia

- nematologia
- entomologia
- patologia vegetal
- agronomia e agricultura sustentável
- ciclagem de nutrientes
- modelagem de ecossistemas e teias alimentares

Tipos de artigos

1. Artigo de Pesquisa (Artigo Regular)
2. Artigo de Revisão
3. Comunicação Curta
4. Ponto de Vista
5. Carta ao Editor
6. Anúncio
7. Soluções de Sustentabilidade

Um *Research Paper* deve relatar os resultados de pesquisa original. O material não deve ter sido publicado anteriormente em outro lugar, exceto em uma forma preliminar.

Um *Artigo de Revisão* deve cobrir um assunto de interesse atual ativo. Eles podem ser submetidos ou convidados.

Uma *Comunicação Curta* é uma descrição concisa, mas completa, de uma investigação limitada, que não será incluída em um artigo posterior. Comunicações Curtas devem ser tão completamente documentadas, tanto por referência à literatura quanto pela descrição dos procedimentos experimentais empregados, quanto um artigo regular. Elas não devem ocupar mais do que 6 páginas impressas (cerca de 12 páginas manuscritas, incluindo figuras, etc.).

Um *Viewpoint* é uma oportunidade de publicar um pequeno artigo de opinião no periódico. As contribuições para esta seção não devem ter mais de 2.500 palavras, 10 referências e podem incluir uma figura ou tabela. Um *Viewpoint* pode ser um comentário ou crítica sobre tópicos novos ou emergentes, controvérsias, métodos de pesquisa ou outras questões relacionadas à ecologia microbiana e faunística do solo.

Uma *Carta ao Editor* comentando artigos publicados no periódico é bem-vinda pelos Editores e é publicada a critério do Editor. As contribuições para esta seção não devem exceder 1.500 palavras e 5 referências com uma figura ou tabela permitida. A "carta" oferece um comentário ou crítica útil sobre material publicado anteriormente na *Applied Soil Ecology*. Comentários/respostas podem ser solicitados dos autores se a carta se referir a um artigo específico no periódico. Tanto a "carta" quanto a refutação do autor serão avaliadas pelos Editores e podem ir para revisão por pares.

Um *Anúncio* é bem-vindo pelos Editores e é publicado a critério do Editor.

Autores que desejam enviar uma *Carta ao Editor* ou um *Anúncio* devem entrar em contato com um dos Editores-Chefes para discutir isso.

Soluções de Sustentabilidade : A Elsevier está introduzindo o novo e empolgante tipo de artigo "Soluções de Sustentabilidade" em um número selecionado de periódicos de ciências ambientais. "Soluções de Sustentabilidade" são artigos curtos que fornecem uma oportunidade para os autores apresentarem desenvolvimentos práticos recentes no campo da sustentabilidade relacionados ao escopo do periódico. Eles podem ser contribuições incluindo, mas não se limitando a:

- **Revisões curtas** e/ou artigos de síntese que tratam de áreas de pesquisa ou tecnologias emergentes que têm o potencial de promover significativamente os esforços de sustentabilidade.
- **Estudos de caso** de iniciativas de sustentabilidade bem-sucedidas de relevância internacional, com foco em estratégias e políticas replicáveis.
- **Análise** de políticas e estruturas regulatórias, e sua eficácia em atingir metas de sustentabilidade. Políticas e estruturas nacionais ou locais devem demonstrar significância global.

Os artigos não devem ter mais de **3.500 palavras** (excluindo referências ou notas de referência) e devem oferecer soluções que atraiam um amplo público, desde estudantes a profissionais, formuladores de políticas e pesquisadores.

Além das seções padrão, cada artigo deste tipo deve conter as seguintes seções especiais:

- **Resumo** : deve incluir um resumo da sua seção "Recomendações" como uma lista de tópicos no final.
- **Recomendações** : Esta seção, colocada no final do seu artigo, deve conter recomendações específicas para lidar com os problemas descritos, superar os desafios discutidos e fornecer orientação para ações práticas, políticas e pesquisas futuras. O objetivo desta seção especial é fornecer a não especialistas, profissionais, formuladores de políticas e tomadores de decisão uma imagem clara do significado social e do impacto (positivo ou negativo) da pesquisa discutida no artigo. Ela também pode conter ideias para potenciais caminhos interdisciplinares para aumentar a relevância da pesquisa discutida.

Para saber mais sobre o tipo de artigo *Sustainability Solutions* , visite o editorial escrito por nossos editores comissionados: Sustainability solutions: Um novo tipo de artigo para abordar os desafios ambientais críticos do Antropoceno

Como enviar um artigo sobre "Sustainability Solutions"?
Autores interessados em enviar um artigo sobre "Sustainability Solutions" devem enviar o artigo completo para o seguinte site: www.editorialmanager.com/sustsol . Se seu artigo for rejeitado em um dos periódicos participantes, entre em contato com o Dr. Michael Bank em Michael.Bank@hi.no e/ou o Dr. Christian Sonne em cs@ecos.au.dk.

Para mais instruções ao autor, clique aqui .

Revisão por pares

Este periódico segue um único processo de revisão anônima. Seu envio será inicialmente avaliado por nossos editores para determinar a adequação para publicação neste

periódico. Se seu envio for considerado adequado, ele normalmente será enviado a um mínimo de dois revisores para uma avaliação independente de especialistas sobre a qualidade científica. A decisão sobre se seu artigo é aceito ou rejeitado será tomada por nossos editores. Os autores que desejam apelar da decisão editorial de seu manuscrito podem enviar uma solicitação formal de apelação de acordo com o procedimento descrito na Política de Apelação da Elsevier . Apenas uma apelação por envio será considerada e a decisão da apelação será final.

Saiba mais sobre revisão por pares .

Nossos editores não estão envolvidos na tomada de decisões sobre artigos que:

- eles mesmos escreveram.
- foram escritos por familiares ou colegas.
- relacionam-se com produtos ou serviços nos quais têm interesse.

Quaisquer submissões desse tipo estarão sujeitas aos procedimentos usuais do periódico e a revisão por pares será tratada independentemente do editor envolvido e seu grupo de pesquisa. Leia mais sobre os deveres do editor .

Edições especiais e coleções de artigos

O processo de revisão por pares para edições especiais e coleções de artigos segue o mesmo processo descrito acima para submissões regulares, exceto que um editor convidado enviará as submissões aos revisores e poderá recomendar uma decisão ao editor do periódico. O editor do periódico supervisiona o processo de revisão por pares de todas as edições especiais e coleções de artigos para garantir que os altos padrões de ética e responsabilidade de publicação sejam respeitados e é responsável pela decisão final sobre aceitação ou rejeição de artigos.

Acesso aberto

Recomendamos que você consulte nossa página de informações de acesso aberto para saber mais sobre as opções de acesso aberto para este periódico.

Ética e políticas

Ética na publicação

Os autores devem seguir as diretrizes éticas estabelecidas na Política de Ética em Publicações da Elsevier .

Declaração de submissão

Quando os autores enviam um artigo para um periódico da Elsevier, fica implícito que:

- o trabalho descrito não foi publicado anteriormente, exceto na forma de uma pré-impressão, um resumo, uma palestra publicada, tese acadêmica ou relatório registrado. Veja nossa política sobre publicação múltipla, redundante ou simultânea .
- o artigo não está sendo considerado para publicação em outro lugar.

- a publicação do artigo é aprovada por todos os autores e tácita ou explicitamente pelas autoridades responsáveis onde o trabalho foi realizado.
- se aceito, o artigo não será publicado em outro lugar no mesmo formato, em inglês ou em qualquer outro idioma, inclusive eletronicamente, sem o consentimento por escrito do detentor dos direitos autorais.

Para verificar a conformidade com nossas políticas de publicação de periódicos, podemos verificar seu manuscrito com nossas ferramentas de triagem.

Autoria

Todos os autores devem ter feito contribuições substanciais para todos os seguintes:

1. A concepção e o desenho do estudo, ou aquisição de dados, ou análise e interpretação de dados.
2. Elaborar o artigo ou revisá-lo criticamente para verificar conteúdo intelectual importante.
3. Aprovação final da versão a ser submetida.

Os autores devem nomear um autor correspondente para se comunicar com o periódico durante o processo editorial. Todos os autores devem concordar em ser responsáveis por todos os aspectos do trabalho para garantir que as questões relacionadas à precisão ou integridade de qualquer parte do trabalho sejam investigadas e resolvidas adequadamente.

Alterações na autoria

Os editores deste periódico geralmente não consideram mudanças na autoria depois que um manuscrito foi submetido. É importante que os autores considerem cuidadosamente a lista de autoria e a ordem dos autores e forneçam uma lista definitiva de autores na submissão original.

A política deste periódico em relação a mudanças de autoria:

- Todos os autores devem ser listados no manuscrito e seus detalhes inseridos no sistema de submissão.
- Qualquer adição, exclusão ou reorganização de nomes de autores na lista de autoria deve ser feita somente antes da aceitação e somente se aprovada pelo editor do periódico.
- Solicitações de alteração de autoria devem ser feitas pelo autor correspondente, que deve fornecer o motivo da solicitação ao editor do periódico, com confirmação por escrito de todos os autores, incluindo quaisquer autores que estejam sendo adicionados ou removidos, de que concordam com a adição, remoção ou reorganização.
- Todos os pedidos de alteração de autoria devem ser enviados usando este formulário. Pedidos que não estejam de acordo com as instruções descritas no formulário não serão considerados.
- Somente em circunstâncias excepcionais o editor do periódico considerará a adição, exclusão ou reorganização de autores após a aceitação.
- A publicação do manuscrito pode ser pausada enquanto uma solicitação de alteração de autoria estiver sendo considerada.

- Qualquer solicitação de alteração de autoria aprovada pelo editor do periódico resultará em uma corrigenda se o manuscrito já tiver sido publicado.
- Qualquer alteração de autoria não autorizada pode resultar na rejeição do artigo ou na retratação, caso o artigo já tenha sido publicado.

Declaração de interesses

Todos os autores devem revelar quaisquer relacionamentos financeiros e pessoais com outras pessoas ou organizações que possam influenciar ou enviesar inapropriadamente seu trabalho. Exemplos de potenciais interesses concorrentes incluem:

- Emprego
- Consultorias
- Propriedade de ações
- Honorários
- Testemunho de especialista pago
- Pedidos ou registros de patentes
- Subvenções ou qualquer outro financiamento

A ferramenta Declaração de Interesses deve ser sempre preenchida.

Autores sem interesses conflitantes a declarar devem selecionar a opção "Não tenho nada a declarar".

O documento Word resultante contendo sua declaração deve ser carregado na etapa "anexar/carregar arquivos" no processo de envio. É importante que o documento Word seja salvo no formato de arquivo .doc/.docx. Assinaturas do autor não são necessárias.

Recomendamos que você leia nossa política sobre declarações de conflito de interesses, declarações de fontes de financiamento, acordos/declarações de autores e notas de permissão .

Fontes de financiamento

Os autores devem divulgar quaisquer fontes de financiamento que forneceram suporte financeiro para a condução da pesquisa e/ou preparação do artigo. O papel dos patrocinadores, se houver, deve ser declarado em relação ao desenho do estudo, coleta, análise e interpretação dos dados, redação do relatório e decisão de submeter o artigo para publicação. Se as fontes de financiamento não tiveram tal envolvimento, isso deve ser declarado em sua submissão.

Liste as fontes de financiamento desta forma padrão para facilitar a conformidade com os requisitos do financiador:

Financiamento: Este trabalho foi apoiado pelos Institutos Nacionais de Saúde [números de subsídios xxxx, yyyy]; pela Fundação Bill & Melinda Gates, Seattle, WA [número de subsídio zzzz]; e pelos Institutos da Paz dos Estados Unidos [número de subsídio aaaa].

Não é necessário incluir descrições detalhadas sobre o programa ou tipo de subsídios, bolsas de estudo e prêmios. Quando o financiamento for de um subsídio em bloco ou

outros recursos disponíveis para uma universidade, faculdade ou outra instituição de pesquisa, envie o nome do instituto ou organização que forneceu o financiamento.

Caso não tenha sido fornecido financiamento para a pesquisa, recomenda-se incluir a seguinte frase:

Esta pesquisa não recebeu nenhuma bolsa específica de agências de financiamento dos setores público, comercial ou sem fins lucrativos.

Declaração de IA generativa na escrita científica

Os autores devem declarar o uso de IA generativa na escrita científica ao enviar o artigo. A orientação a seguir se refere apenas ao processo de escrita, e não ao uso de ferramentas de IA para analisar e extrair insights de dados como parte do processo de pesquisa:

- IA generativa e tecnologias assistidas por IA devem ser usadas apenas no processo de escrita para melhorar a legibilidade e a linguagem do manuscrito.
- A tecnologia deve ser aplicada com supervisão e controle humanos e os autores devem revisar e editar cuidadosamente o resultado, pois a IA pode gerar resultados que parecem autoritários, mas que podem ser incorretos, incompletos ou tendenciosos. Os autores são, em última análise, responsáveis e responsáveis pelo conteúdo do trabalho.
- Os autores não devem listar ou citar IA e tecnologias assistidas por IA como autores ou coautores no manuscrito, pois a autoria implica responsabilidades e tarefas que só podem ser atribuídas e executadas por humanos.

O uso de IA generativa e tecnologias assistidas por IA na escrita científica deve ser declarado adicionando uma declaração no final do manuscrito quando o artigo for submetido pela primeira vez. A declaração aparecerá no trabalho publicado e deve ser colocada em uma nova seção antes da lista de referências. Um exemplo:

- Título da nova seção: Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de escrita.
- Declaração: Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) usaram [NOME DA FERRAMENTA/SERVIÇO] para [MOTIVO]. Após usar esta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

A declaração não se aplica ao uso de ferramentas básicas, como ferramentas usadas para verificar gramática, ortografia e referências. Se você não tem nada a revelar, não precisa adicionar uma declaração.

Leia a política de autores da Elsevier sobre o uso de IA generativa e tecnologias assistidas por IA, que pode ser encontrada em nossas Políticas GenAI para periódicos .

Observação: para proteger os direitos dos autores e a confidencialidade de suas pesquisas, este periódico não permite atualmente o uso de IA generativa ou tecnologias assistidas por IA, como ChatGPT ou serviços semelhantes por revisores ou editores no processo de revisão por pares e avaliação de manuscritos, conforme declarado em nossas Políticas GenAI para periódicos . Estamos avaliando ativamente ferramentas de IA compatíveis e podemos revisar esta política no futuro.

Pré-impressões

Compartilhamento de pré-impressão

Os autores podem compartilhar preprints de acordo com a política de compartilhamento de artigos da Elsevier . Compartilhar preprints, como em um servidor de preprints, não contará como publicação anterior.

Recomendamos que você leia nossa política sobre publicação múltipla, redundante ou simultânea .

Publicação gratuita de pré-impressão no SSRN

Em apoio à ciência aberta, este periódico oferece aos autores um serviço gratuito de postagem de pré-impressão no SSRN para garantir o registro antecipado e a disseminação da pesquisa e facilitar citações e colaboração antecipadas. A postagem no SSRN está sujeita às verificações padrão do SSRN.

Você terá a opção de liberar seu manuscrito no SSRN durante o processo de submissão. Concordar com essa opção não terá efeito no processo editorial ou resultado, e seu manuscrito permanecerá publicamente disponível e livre para leitura no SSRN, quer nossos editores aceitem ou rejeitem seu manuscrito.

Você receberá um e-mail quando sua pré-impressão for publicada on-line no SSRN e um Identificador de Objeto Digital (DOI) for atribuído.

Os autores correspondentes devem buscar a aprovação de todos os coautores antes de concordar em publicar um manuscrito no SSRN.

Recomendamos que você leia sobre o SSRN , incluindo os Termos de Uso do SSRN e as Perguntas Frequentes do SSRN antes de selecionar esta opção.

Uso de linguagem inclusiva

A linguagem inclusiva reconhece a diversidade, transmite respeito a todas as pessoas, é sensível às diferenças e promove oportunidades iguais. Os autores devem garantir que seu trabalho use linguagem inclusiva em todo o texto e não contenha nada que possa implicar que um indivíduo seja superior a outro com base em:

- idade
- gênero
- cor/raça
- etnia
- cultura
- orientação sexual
- deficiência ou condição de saúde

Recomendamos evitar o uso de descritores sobre atributos pessoais, a menos que sejam relevantes e válidos. Escreva para neutralidade de gênero com o uso de substantivos plurais ("clínicos, pacientes/clientes") como padrão. Sempre que possível, evite usar "ele, ela" ou "ele/ela".

Não devem ser feitas suposições sobre as crenças dos leitores e a escrita deve ser livre de preconceitos, estereótipos, gírias, referências à cultura dominante e/ou suposições culturais.

Estas diretrizes servem como um ponto de referência para ajudar você a identificar a linguagem apropriada, mas não são de forma alguma exaustivas ou definitivas.

Relatando análises baseadas em sexo e gênero

Não há um conjunto único e universalmente acordado de diretrizes para definir sexo e gênero. Oferecemos a seguinte orientação:

- Análises baseadas em sexo e gênero (SGBA) devem ser integradas ao design de pesquisa quando a pesquisa envolve ou pertence a humanos, animais ou células eucarióticas. Isso deve ser feito de acordo com quaisquer requisitos definidos por financiadores ou patrocinadores e melhores práticas dentro de um campo.
- As dimensões de sexo e/ou gênero da pesquisa devem ser abordadas no artigo ou declaradas como uma limitação à generalização da pesquisa.
- As definições de sexo e/ou gênero aplicadas devem ser declaradas explicitamente para aumentar a precisão, o rigor e a reprodutibilidade da pesquisa e para evitar ambiguidade ou confusão de termos e dos construtos aos quais eles se referem.

Recomendamos que você leia as diretrizes de Equidade de Sexo e Gênero em Pesquisa (SAGER) e a lista de verificação do SAGER (PDF) no site da EASE, que oferecem abordagens sistemáticas ao uso de informações sobre sexo e gênero no desenho de estudos, análise de dados, relatórios de resultados e interpretação de pesquisas.

Para mais informações, sugerimos a leitura da justificativa e do uso recomendado das diretrizes SAGER .

Definições de sexo e/ou gênero

Pedimos aos autores que definam como sexo e gênero foram usados em suas pesquisas e publicações. Algumas orientações:

- Sexo geralmente se refere a um conjunto de atributos biológicos que são associados a características físicas e fisiológicas, como genótipo cromossômico, níveis hormonais, anatomia interna e externa. Uma categorização binária de sexo (masculino/feminino) é geralmente designada no nascimento ("sexo atribuído no nascimento") e é, na maioria dos casos, baseada somente na anatomia externa visível de um recém-nascido. Na realidade, as categorizações de sexo incluem pessoas que são intersexuais/têm diferenças de desenvolvimento sexual (DSD).
- Gênero geralmente se refere a papéis, comportamentos e identidades socialmente construídos de mulheres, homens e pessoas de gênero diverso que ocorrem em um contexto histórico e cultural e podem variar entre sociedades e ao longo do tempo. Gênero influencia como as pessoas veem a si mesmas e umas às outras, como se comportam e interagem e como o poder é distribuído na sociedade.

Reivindicações jurisdicionais

A Elsevier respeita as decisões tomadas por seus autores sobre como eles escolhem designar territórios e identificar suas afiliações em seu conteúdo publicado. A política da Elsevier é assumir uma posição neutra com relação a disputas territoriais ou reivindicações jurisdicionais, incluindo, mas não se limitando a, mapas e afiliações institucionais. Para periódicos que a Elsevier publica em nome de um proprietário terceirizado, o proprietário pode definir sua própria política sobre essas questões.

- **Mapas:** Os leitores devem ser capazes de localizar quaisquer áreas de estudo mostradas dentro de mapas usando plataformas de mapeamento comuns. Os mapas devem mostrar apenas a área realmente estudada e os autores não devem incluir um mapa de localização que exiba uma área maior do que a caixa delimitadora da área de estudo. Os autores devem adicionar uma nota afirmando claramente que "*as linhas do mapa delineiam as áreas de estudo e não necessariamente descrevem os limites nacionais aceitos*". Durante o processo de revisão, os editores da Elsevier podem solicitar que os autores alterem os mapas se essas diretrizes não forem seguidas.
- **Afiliações institucionais:** Os autores devem usar o título completo e padrão de sua instituição ou a abreviação padrão do nome institucional para que o nome institucional possa ser verificado de forma independente para fins de integridade da pesquisa.

Escrita e formatação

Formato de arquivo

Pedimos que você forneça arquivos de origem editáveis para todo o seu envio (incluindo figuras, tabelas e gráficos de texto). Algumas diretrizes:

- Salve arquivos em um formato editável, usando a extensão .doc/.docx para arquivos Word e .tex para arquivos LaTeX. Um PDF não é um arquivo de origem aceitável.
- Disponha o texto em um formato de coluna única.
- Use funções de verificação ortográfica e gramatical para evitar erros.

Recomendamos que você leia nosso Guia passo a passo para publicar com a Elsevier .

Página de título

Você deve incluir os seguintes detalhes nas informações da página de título:

- **Título do artigo.** Os títulos dos artigos devem ser concisos e informativos. Por favor, evite abreviações e fórmulas, sempre que possível, a menos que sejam estabelecidas e amplamente compreendidas, por exemplo, DNA).
- **Nomes dos autores.** Forneça o(s) nome(s) e sobrenome(s) de cada autor. A ordem dos autores deve corresponder à ordem no sistema de submissão. Verifique cuidadosamente se todos os nomes estão escritos corretamente. Se necessário, você pode adicionar seu nome entre parênteses em seu próprio script após a transliteração em inglês.
- **Afiliações.** Adicione endereços de afiliação, referindo-se a onde o trabalho foi realizado, abaixo dos nomes dos autores. Indique as afiliações usando uma letra minúscula sobrescrita imediatamente após o nome do autor e na frente do endereço

correspondente. Certifique-se de fornecer o endereço postal completo de cada afiliação, incluindo o nome do país e, se disponível, o endereço de e-mail de cada autor.

- Autor correspondente. Indique claramente quem cuidará da correspondência do seu artigo em todos os estágios do processo de arbitragem e publicação e também após a publicação. Essa responsabilidade inclui responder a quaisquer dúvidas futuras sobre seus resultados, dados, metodologia e materiais. É importante que o endereço de e-mail e os detalhes de contato do seu autor correspondente sejam mantidos atualizados durante o processo de submissão e publicação.
- Endereço atual/permanente. Se um autor se mudou desde que o trabalho descrito em seu artigo foi realizado, ou o autor estava visitando durante esse tempo, um "endereço atual" (ou "endereço permanente") pode ser indicado por uma nota de rodapé no nome do autor. O endereço onde o autor realizou o trabalho deve ser mantido como seu endereço de afiliação principal. Use algarismos arábicos sobrescritos para tais notas de rodapé.

Resumo

Você deve fornecer um resumo conciso e factual que não exceda 250 palavras. O resumo deve declarar brevemente o propósito de sua pesquisa, os principais resultados e as principais conclusões. Algumas diretrizes:

- Os resumos devem ser independentes, pois geralmente são apresentados separadamente do artigo.
- Evite referências. Se alguma for essencial incluir, certifique-se de citar o(s) autor(es) e o(s) ano(s).
- Evite abreviações não padronizadas ou incomuns. Se alguma for essencial incluir, garanta que elas sejam definidas em seu resumo na primeira menção.

Palavras-chave

Você precisa fornecer de 1 a 7 palavras-chave para fins de indexação. As palavras-chave devem ser escritas em inglês. Tente evitar palavras-chave que consistam em várias palavras (usando "and" ou "of").

Recomendamos que você use abreviações em palavras-chave somente se elas estiverem firmemente estabelecidas na área.

Destaques

Você deve fornecer destaques do artigo no momento do envio.

Destaques são uma pequena coleção de marcadores que devem capturar os novos resultados da sua pesquisa, bem como quaisquer novos métodos usados durante o seu estudo. Destaques ajudarão a aumentar a capacidade de descoberta do seu artigo por meio de mecanismos de busca. Algumas diretrizes:

- Envie os destaques como um arquivo editável separado no sistema de envio online com a palavra "destaques" incluída no nome do arquivo.
- Os destaques devem consistir de 3 a 5 marcadores, cada um com no máximo 85 caracteres, incluindo espaços.

Recomendamos que você veja os destaques dos artigos de exemplo e leia sobre os benefícios de sua inclusão.

Resumo gráfico

Recomendamos que você forneça um resumo gráfico no momento do envio.

O resumo gráfico deve resumir o conteúdo do seu artigo em um formato conciso e pictórico, projetado para capturar a atenção de um amplo público leitor. Um resumo gráfico ajudará a atrair mais atenção para seu artigo on-line e dará suporte aos leitores na digestão de sua pesquisa. Algumas diretrizes:

- Envie seu resumo gráfico como um arquivo separado no sistema de envio on-line.
- Certifique-se de que a imagem tenha no mínimo 531 x 1328 pixels (AxL) ou proporcionalmente mais e seja legível em um tamanho de 5 x 13 cm usando uma resolução de tela normal de 96 dpi.
- Nossos tipos de arquivo preferidos para resumos gráficos são TIFF, EPS, PDF ou arquivos do MS Office.

Recomendamos que você visualize exemplos de resumos gráficos e leia sobre os benefícios de incluí-los.

Fórmulas matemáticas

- Envie equações matemáticas como texto editável, não como imagens.
- Apresente fórmulas simples alinhadas com o texto normal, sempre que possível.
- Use a barra (/) em vez de uma linha horizontal para pequenos termos fracionários, como X/Y.
- Apresentar variáveis em itálico.
- Denote potências de e por exp.
- Exiba as equações separadamente do seu texto, numerando-as consecutivamente na ordem em que são referenciadas no texto.

Tabelas

As tabelas devem ser enviadas como texto editável, não como imagens. Algumas diretrizes:

- Coloque tabelas ao lado do texto relevante ou em uma página(s) separada(s) no final do seu artigo.
- Cite todas as tabelas no texto do manuscrito.
- Numere as tabelas consecutivamente de acordo com sua aparição no texto.
- Por favor, forneça legendas junto com as tabelas.
- Coloque quaisquer notas da tabela abaixo do corpo da tabela.
- Evite regras verticais e sombreamento dentro das células da tabela.

Recomendamos que você use tabelas com moderação, garantindo que quaisquer dados apresentados nas tabelas não dupliquem resultados descritos em outras partes do artigo.

Figuras, imagens e obras de arte

Figuras, imagens, artes, diagramas e outras mídias gráficas devem ser fornecidas como arquivos separados junto com o manuscrito. Recomendamos que você leia nossas instruções detalhadas de artes e mídia . Alguns trechos:

Ao enviar uma obra de arte:

- Cite todas as imagens no texto do manuscrito.
- Numere as imagens de acordo com a sequência em que aparecem no seu artigo.
- Envie cada imagem como um arquivo separado usando uma convenção de nomenclatura lógica para seus arquivos (por exemplo, Figura_1, Figura_2 etc.).
- Forneça legendas para todas as figuras, imagens e obras de arte.
- Gráficos de texto podem ser incorporados ao texto na posição apropriada. Se você estiver trabalhando com LaTeX, gráficos de texto também podem ser incorporados ao arquivo.

Formatos de arte

Quando sua arte estiver finalizada, "salve como" ou converta sua arte eletrônica para os formatos listados abaixo, levando em consideração os requisitos de resolução fornecidos para desenhos de linha, meios-tons e combinações de linha/meio-tom:

- Desenhos vetoriais: salve como arquivos EPS ou PDF incorporando a fonte ou salvando o texto como "gráficos".
- Fotografias coloridas ou em tons de cinza (meios-tons): salve como arquivos TIFF, JPG ou PNG usando no mínimo 300 dpi (para coluna única: mín. 1063 pixels, largura de página inteira: 2244 pixels).
- Desenhos de linhas em bitmap: salve como arquivos TIFF, JPG ou PNG usando no mínimo 1000 dpi (para coluna única: mín. 3543 pixels, largura de página inteira: 7480 pixels).
- Combinações de linhas/meios-tons de bitmap (coloridas ou em tons de cinza): Salve como arquivos TIFF, JPG ou PNG usando no mínimo 500 dpi (para coluna única: mín. 1772 pixels, largura de página inteira: 3740 pixels).

Por favor, não envie:

- arquivos com resolução muito baixa (por exemplo, arquivos otimizados para uso na tela, como GIF, BMP, PICT ou WPG).
- imagens desproporcionalmente grandes em comparação ao tamanho da fonte, pois o texto pode ficar ilegível.

Legendas das figuras

Todas as imagens devem ter uma legenda. Uma legenda deve consistir em um breve título (não exibido na figura em si) e uma descrição da imagem. Aconselhamos que você mantenha a quantidade de texto em qualquer imagem no mínimo, embora quaisquer símbolos e abreviações usados devam ser explicados.

Forneça legendas em um arquivo separado.

Arte colorida

Se você enviar figuras coloridas utilizáveis com seu artigo aceito, garantiremos que elas apareçam coloridas on-line.

Por favor, garanta que as imagens coloridas sejam acessíveis a todos, incluindo aqueles com deficiência visual de cores. Saiba mais sobre acessibilidade de cores e web .

Para artigos que aparecem na versão impressa, você receberá informações sobre os custos para reproduzir a cor na versão impressa, depois que seu artigo aceito for enviado para produção. Nesta fase, indique se sua preferência é ter cor apenas na versão online do seu artigo ou também na versão impressa.

IA generativa e figuras, imagens e obras de arte

Leia nossa política sobre o uso de IA generativa e ferramentas assistidas por IA em figuras, imagens e artes, que pode ser encontrada nas Políticas GenAI para periódicos da Elsevier . Esta política declara:

- Não permitimos o uso de IA generativa ou ferramentas assistidas por IA para criar ou alterar imagens em manuscritos enviados.
- A única exceção é se o uso de IA ou ferramentas assistidas por IA fizer parte do design ou métodos de pesquisa (por exemplo, no campo de imagens biomédicas). Se esse for o caso, tal uso deve ser descrito de forma reproduzível na seção de métodos, incluindo o nome do modelo ou ferramenta, números de versão e extensão e fabricante.
- O uso de IA generativa ou ferramentas assistidas por IA na produção de arte, como para resumos gráficos, não é permitido. O uso de IA generativa na produção de arte de capa pode, em alguns casos, ser permitido, se o autor obtiver permissão prévia do editor e da editora do periódico, puder demonstrar que todos os direitos necessários foram liberados para o uso do material relevante e garantir que haja atribuição correta do conteúdo.

Material suplementar

Incentivamos o uso de materiais suplementares, como aplicativos, imagens e clipes de som para aprimorar a pesquisa. Algumas diretrizes:

- Cite todos os arquivos suplementares no texto do manuscrito.
- Envie materiais suplementares ao mesmo tempo que seu artigo. Esteja ciente de que todos os materiais suplementares fornecidos aparecerão on-line no mesmo tipo de arquivo exato em que foram recebidos. Esses arquivos não serão formatados ou compostos pela equipe de produção.
- Inclua uma legenda concisa e descritiva para cada arquivo suplementar descrevendo seu conteúdo.
- Forneça arquivos atualizados se em qualquer estágio do processo de publicação você desejar fazer alterações nos materiais suplementares enviados.
- Não faça anotações ou correções em uma versão anterior de um arquivo suplementar.
- Desative a opção de rastrear alterações em arquivos do Microsoft Office. Se as alterações rastreadas forem deixadas ligadas, elas aparecerão na sua versão publicada.

Recomendamos que você carregue dados de pesquisa para um repositório especializado ou generalista adequado. Leia nossas diretrizes sobre compartilhamento de dados de pesquisa para obter mais informações sobre depósito, compartilhamento e uso de dados de pesquisa e outros materiais de pesquisa relevantes.

Vídeo

Este periódico aceita material de vídeo e sequências de animação para dar suporte e aprimorar sua pesquisa científica. Nós o encorajamos a incluir links para arquivos de vídeo ou animação dentro dos artigos. Algumas diretrizes:

- Ao incluir links para arquivos de vídeo ou animação em seu artigo, faça referência ao conteúdo do vídeo ou animação adicionando uma nota no texto onde o arquivo deve ser colocado.
- Rotule os arquivos claramente, garantindo que o nome fornecido esteja diretamente relacionado ao conteúdo do arquivo.
- Forneça arquivos em um dos nossos formatos de arquivo recomendados . Os arquivos devem estar dentro do nosso tamanho máximo de arquivo preferido de 150 MB por arquivo, 1 GB no total.
- Forneça "stills" para cada um dos seus arquivos. Eles serão usados como ícones padrão para personalizar o link para os seus dados de vídeo. Você pode escolher qualquer quadro do seu vídeo ou animação ou fazer uma imagem separada.
- Forneça texto (tanto para a versão eletrônica quanto para a impressa) para ser colocado nas partes do seu artigo que se referem ao conteúdo de vídeo. Este é um texto essencial, pois arquivos de vídeo e animação não podem ser incorporados na versão impressa do periódico.

Publicamos todos os arquivos de vídeo e animação fornecidos na versão eletrônica do seu artigo.

Para obter instruções mais detalhadas, recomendamos que você leia nossas diretrizes sobre como enviar conteúdo de vídeo para ser incluído no corpo de um artigo .

Dados de pesquisa

Estamos comprometidos em apoiar o armazenamento, o acesso e a descoberta de dados de pesquisa, e nossa política de dados de pesquisa define os princípios que orientam como trabalhamos com a comunidade de pesquisa para dar suporte a um processo de pesquisa mais eficiente e transparente.

Dados de pesquisa referem-se aos resultados de observações ou experimentações que validam descobertas de pesquisa, que também podem incluir software, código, modelos, algoritmos, protocolos, métodos e outros materiais úteis relacionados ao projeto.

Leia nossas diretrizes sobre compartilhamento de dados de pesquisa para obter mais informações sobre como depositar, compartilhar e usar dados de pesquisa e outros materiais de pesquisa relevantes.

Para este periódico, aplicam-se as seguintes instruções de nossas diretrizes de dados de pesquisa .

Opção C: Depósito de dados de pesquisa, citação e vinculação

Você é **obrigado** a:

- Deposite seus dados de pesquisa em um repositório de dados relevante.
- Cite e vincule esse conjunto de dados em seu artigo.
- Se isso não for possível, faça uma declaração explicando por que os dados da pesquisa não podem ser compartilhados.

Declaração de dados

Para promover a transparência, você deve declarar a disponibilidade de quaisquer dados no momento do envio.

Garantir que os dados estejam disponíveis pode ser um requisito do seu órgão ou instituição financiadora. Se seus dados não estiverem disponíveis para acesso ou forem inadequados para publicação, você pode declarar o motivo (por exemplo, seus dados de pesquisa incluem informações sensíveis ou confidenciais, como dados de pacientes) durante o processo de envio. Esta declaração aparecerá com seu artigo publicado no ScienceDirect.

Saiba mais sobre a importância e os benefícios de fornecer uma declaração de dados .

Ligação de dados

O link para os dados subjacentes ao seu trabalho aumenta sua exposição e pode levar a novas colaborações. Também fornece aos leitores uma melhor compreensão da pesquisa descrita.

Se os dados da sua pesquisa foram disponibilizados em um repositório de dados, há várias maneiras de vincular seu artigo diretamente ao conjunto de dados:

- Forneça um link para seu conjunto de dados quando solicitado durante o processo de envio on-line.
- Para alguns repositórios de dados, um banner de repositório aparecerá automaticamente ao lado do seu artigo publicado no ScienceDirect.
- Você também pode vincular dados ou entidades relevantes dentro do texto do seu artigo por meio do uso de identificadores. Use o seguinte formato: Database: 12345 (por exemplo, TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Saiba mais sobre como vincular dados de pesquisa e artigos de pesquisa no ScienceDirect .

Elementos de Pesquisa

Este periódico permite a publicação de objetos de pesquisa (por exemplo, dados, métodos, protocolos, software e hardware) relacionados à pesquisa original nos periódicos Research Elements da Elsevier .

Research Elements são periódicos de acesso aberto e revisados por pares que tornam os objetos de pesquisa localizáveis, acessíveis e reutilizáveis. Ao fornecer descrições detalhadas dos objetos e suas aplicações com links para o artigo de pesquisa original, seus objetos de pesquisa podem ser colocados em contexto dentro do seu artigo.

Você será alertado durante a submissão sobre a oportunidade de enviar um manuscrito para um dos periódicos Research Elements. Seu artigo Research Elements pode ser preparado por você ou por um de seus colaboradores.

Estrutura do artigo

Seções do artigo

- Divida seu artigo em seções claramente definidas e numeradas. Numere as subseções 1.1 (depois 1.1.1, 1.1.2, ...), depois 1.2, etc.
- Use o formato de numeração ao fazer referência cruzada dentro do seu artigo. Não se refira apenas ao "texto".
- Você pode dar às subseções um breve título. Os títulos devem aparecer em uma linha separada.
- Não inclua o resumo do artigo na numeração das seções.

Glossário

Forneça definições de termos específicos do campo usados em seu artigo, em uma lista separada.

Notas de rodapé

Aconselhamos que você use notas de rodapé com moderação. Se você incluir notas de rodapé em seu artigo, certifique-se de que elas sejam numeradas consecutivamente.

Você pode usar recursos do sistema que automaticamente criam notas de rodapé no texto. Como alternativa, você pode indicar a posição das notas de rodapé dentro do texto e apresentá-las em uma seção separada no final do seu artigo.

Agradecimentos

Inclua quaisquer indivíduos que lhe forneceram ajuda durante sua pesquisa, como ajuda com a linguagem, escrita ou revisão, na seção de agradecimentos. Os agradecimentos devem ser colocados em uma seção separada que aparece diretamente antes da lista de referências. Não inclua agradecimentos na sua página de título, como uma nota de rodapé para seu título, ou em qualquer outro lugar em seu artigo que não seja na seção de agradecimentos separada.

Contribuições dos autores: CRediT

Os autores correspondentes devem reconhecer as contribuições dos coautores usando as funções CRediT (Contributor Roles Taxonomy) :

- Conceitualização
- Curadoria de dados

- Análise formal
- Aquisição de financiamento
- Investigação
- Metodologia
- Administração de projetos
- Recursos
- Programas
- Supervisão
- Validação
- Visualização
- Escrita – rascunho original
- Escrita – revisão e edição

Nem todas as funções do CRediT se aplicarão a todos os manuscritos e alguns autores podem contribuir por meio de múltiplas funções.

Recomendamos que você leia mais sobre o CRediT e veja um exemplo de declaração de autor do CRediT .

Fontes de financiamento

Os autores devem divulgar quaisquer fontes de financiamento que forneceram suporte financeiro para a condução da pesquisa e/ou preparação do artigo. O papel dos patrocinadores, se houver, deve ser declarado em relação ao desenho do estudo, coleta, análise e interpretação dos dados, redação do relatório e decisão de submeter o artigo para publicação. Se as fontes de financiamento não tiveram tal envolvimento, isso deve ser declarado em sua submissão.

Liste as fontes de financiamento desta forma padrão para facilitar a conformidade com os requisitos do financiador:

Financiamento: Este trabalho foi apoiado pelos Institutos Nacionais de Saúde [números de subsídios xxxx, yyyy]; pela Fundação Bill & Melinda Gates, Seattle, WA [número de subsídio zzzz]; e pelos Institutos da Paz dos Estados Unidos [número de subsídio aaaa].

Não é necessário incluir descrições detalhadas sobre o programa ou tipo de subsídios, bolsas de estudo e prêmios. Quando o financiamento for de um subsídio em bloco ou outros recursos disponíveis para uma universidade, faculdade ou outra instituição de pesquisa, envie o nome do instituto ou organização que forneceu o financiamento.

Caso não tenha sido fornecido financiamento para a pesquisa, recomenda-se incluir a seguinte frase:

Esta pesquisa não recebeu nenhuma bolsa específica de agências de financiamento dos setores público, comercial ou sem fins lucrativos.

Apêndices

Pedimos que você use o seguinte formato para apêndices:

- Identifique apêndices individuais dentro do seu artigo usando o formato: A, B, etc.
- Dê numeração separada para fórmulas e equações dentro dos apêndices usando formatos como Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc. e em apêndices subsequentes, Eq. (B.1), Eq. (B.2) etc. De forma semelhante, dê numeração separada para tabelas e figuras usando formatos como Tabela A.1; Fig. A.1, etc.

Referências

Referências dentro do texto

Quaisquer referências citadas em seu artigo também devem estar presentes em sua lista de referências e vice-versa. Algumas diretrizes:

- As referências citadas no seu resumo devem ser fornecidas na íntegra.
- Recomendamos que você não inclua resultados não publicados e comunicações pessoais em sua lista de referências, embora você possa mencioná-los no texto do seu artigo.
- Quaisquer resultados não publicados e comunicações pessoais incluídas na sua lista de referências devem seguir o estilo de referência padrão do periódico. Em substituição à data de publicação, adicione "resultados não publicados" ou "comunicação pessoal".
- Referências citadas como "no prelo" implicam que o item foi aceito para publicação.

Criar links para fontes citadas aumentará a capacidade de descoberta da sua pesquisa.

Antes do envio, verifique se todos os dados fornecidos na sua lista de referências estão corretos, incluindo quaisquer referências que tenham sido copiadas. Fornecer dados de referência corretos nos permite vincular a serviços de resumo e indexação, como Scopus, Crossref e PubMed. Quaisquer sobrenomes, títulos de periódicos ou livros, anos de publicação ou paginação incorretos em suas referências podem impedir a criação de links.

Incentivamos o uso de Identificadores de Objetos Digitais (DOIs) como links de referência, pois eles fornecem um link permanente para o artigo eletrônico referenciado.

Estilo de referência

Todas as citações no texto devem se referir a:

- Autor único: nome do autor (sem iniciais, salvo ambiguidade) e ano de publicação.
- Dois autores: nomes de ambos os autores e o ano de publicação.
- Três ou mais autores: nome do primeiro autor seguido de "et al." e o ano de publicação.

As citações podem ser feitas diretamente (ou entre parênteses). Grupos de referências podem ser listados primeiro em ordem alfabética, depois cronológica ou vice-versa. Exemplos: "conforme demonstrado (Allan, 2020a, 2020b; Allan e Jones, 2019)" ou "conforme demonstrado (Jones, 2019; Allan, 2020). Kramer et al. (2023) mostraram recentemente".

A lista de referências deve ser organizada alfabeticamente e, em seguida, cronologicamente, se necessário. Mais de uma referência do(s) mesmo(s) autor(es) no mesmo ano deve(m) ser identificada(s) pelas letras 'a', 'b', 'c', etc., colocadas após o ano de publicação.

Abreviar nomes de periódicos de acordo com a Lista de Abreviações de Palavras de Título (LTWA).

Exemplos:

Referência a uma publicação de periódico:

Van der Geer, J., Handgraaf, T., Lupton, RA, 2020. A arte de escrever um artigo científico. *J. Ciência. Comum.* 163, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.sc.2020.00372>.

Referência a uma publicação de periódico com número de artigo:

Van der Geer, J., Handgraaf, T., Lupton, RA, 2022. A arte de escrever um artigo científico. *Heliyon.* 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e00205>.

Referência a um livro:

Strunk Jr., W., White, EB, 2000. *The Elements of Style*, quarta edição. Longman, Nova York.

Referência a um capítulo de um livro:

Mettam, GR, Adams, LB, 2023. Como preparar uma versão eletrônica do seu artigo, em: Jones, BS, Smith, RZ (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., Nova York, pp. 281–304.

Referência a um site:

Cancer Research UK, 2023. Relatórios de estatísticas de câncer para o Reino Unido. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (acessado em 13 de março de 2023).

Referência a um conjunto de dados:

Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Dados de mortalidade para a doença da murcha do carvalho japonês e composições florestais circundantes [conjunto de dados]. *Mendeley Data*, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Referência ao software:

Coon, E., Berndt, M., Jan, A., Svyatsky, D., Atchley, A., Kikinzon, E., Harp, D., Manzini, G., Shelef, E., Lipnikov, K., Garimella, R., Xu, C., Moulton, D., Karra, S., Painter, S., Jafarov, E., & Molins, S., 2020. *Simulador Terrestre Avançado (ATS) v0.88* (versão 0.88) [software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3727209>.

Referências da Web

Ao listar referências da web, no mínimo você deve fornecer a URL completa e a data em que a referência foi acessada pela última vez. Informações adicionais (por exemplo, DOI, nomes de autores, datas ou referência a uma publicação de origem) também devem ser fornecidas, se conhecidas.

Você pode listar referências da web separadamente sob um novo título logo após sua lista de referências ou incluí-las em sua lista de referências.

Referências de dados

Recomendamos que você cite conjuntos de dados subjacentes ou relevantes no texto do artigo e liste referências de dados na lista de referências.

Ao citar referências de dados, você deve incluir:

- nome(s) do(s) autor(es)
- título do conjunto de dados
- repositório de dados
- versão (quando disponível)
- ano
- identificador persistente global

Adicione [dataset] imediatamente antes da sua referência. Isso nos ajudará a identificar corretamente o dataset. O identificador [dataset] não aparecerá no seu artigo publicado.

Referências de pré-impressão

Pedimos que você marque as pré-impressões claramente. Você deve incluir a palavra "pré-impressão" ou o nome do servidor de pré-impressão como parte de sua referência e fornecer o DOI da pré-impressão.

Quando uma pré-impressão for posteriormente disponibilizada como uma publicação revisada por pares, use a publicação formal como referência.

Se houver pré-impressões que sejam essenciais para seu trabalho ou que abranjam desenvolvimentos cruciais no tópico, mas que ainda não foram publicadas formalmente, você pode fazer referência à pré-impressão.

Software de gerenciamento de referências

A maioria dos periódicos da Elsevier tem seu modelo de referência disponível em produtos populares de software de gerenciamento de referências. Isso inclui produtos que suportam Citation Style Language (CSL), como o Mendeley Reference Manager .

Se você usar um plug-in de citação desses produtos, selecione o modelo de periódico relevante e todas as suas citações e bibliografias serão automaticamente formatadas no estilo do periódico. Aconselhamos que você remova todos os códigos de campo antes de

enviar seu manuscrito para qualquer produto de software de gerenciamento de referências.

Se um modelo não estiver disponível para este periódico, siga o formato fornecido nos exemplos na seção de estilo de referência deste Guia para Autores.

Informações específicas do periódico

Os manuscritos devem ser preparados com numeração de linha contínua, margens largas e espaçamento duplo em toda a extensão, ou seja, também para resumos, notas de rodapé e referências. Cada página do manuscrito, incluindo a página de título, referências, tabelas, etc., deve ser numerada. No entanto, no texto, nenhuma referência deve ser feita a números de página; se necessário, pode-se consultar seções.

Enviando seu manuscrito

Lista de verificação de envio

Antes de concluir o envio do seu manuscrito, recomendamos que você leia nossa lista de verificação de envio:

- Um autor foi designado como autor correspondente e seus detalhes completos de contato (endereço de e-mail, endereço postal completo e números de telefone) foram fornecidos.
- Todos os arquivos foram enviados, incluindo palavras-chave, legendas de figuras e tabelas (incluindo título, descrição e notas de rodapé).
- Foram realizadas verificações de ortografia e gramática.
- Todas as referências no texto do artigo são citadas na lista de referências e vice-versa.
- Foi obtida permissão para o uso de qualquer material protegido por direitos autorais de outras fontes, incluindo a Web.
- Para artigos de acesso aberto dourado, todos os autores entendem que são responsáveis pelo pagamento da taxa de publicação do artigo (APC) se o manuscrito for aceito. O pagamento da APC pode ser coberto pela instituição do autor correspondente ou pelo financiador da pesquisa.

Informações específicas do periódico

Carta de apresentação

Os autores devem incluir uma carta de apresentação aos editores. Se o seu artigo rejeitado foi convidado para reenvio pelo editor, inclua informações sobre seu reenvio na carta de apresentação (incluindo o número de envio do artigo rejeitado e o nome do Editor de Tratamento) e refutações aos comentários do revisor e do editor. Observe que o reenvio de artigos rejeitados, que não foram especificamente convidados para reenvio, não é endossado.

Dados de sequência

Artigos que tratam de sequências de aminoácidos de proteínas ou com sequências de nucleotídeos devem conter uma declaração de que os dados foram depositados em um

banco de dados apropriado, por exemplo, o Laboratório Europeu de Biologia Molecular (EMBL) ou as Bibliotecas de Dados GenBank, PRIDE, etc. O número de acesso ao banco de dados deve ser fornecido no final da seção Materiais e Métodos do manuscrito sob o título separado 'Números de acesso'. Por exemplo: Coordenadas e fatores de estrutura foram depositados no Banco de Dados de Proteínas com o número de acesso 2XYZ. Sequências de nucleotídeos longas serão publicadas somente se, no julgamento do Conselho Editorial, esses resultados forem de interesse e importância geral.

Revisão

Observe que sua versão de revisão deve conter o seguinte:

- Refutações do autor aos comentários do revisor e do editor
- Versão 'limpa' do manuscrito
- Versão 'Controlar alterações' do manuscrito

Materiais e métodos

A descrição do local deve incluir, em geral, o clima, solo(s), relevo, vegetação, tipo de uso da terra e qualquer outra informação pertinente sobre a condição/situação do local de pesquisa. Identifique os solos pelo nome do Grande Grupo, pelo menos, e, de preferência, pelo nome da série de solos. Esta deve ser a versão mais recente da Base de Referência Mundial da FAO (WRB) para Recursos do Solo ou os sistemas de classificação de solos da UDSDA. Informações para o sistema WRB podem ser encontradas em: <http://www.fao.org/docrep/003/y1899e/y1899e02.htm#TopOfPage>

Para o sistema USDA, como um exemplo no texto dos Materiais e Métodos, o texto pode ser lido como segue - "O solo era um franco-argiloso siltoso Malabon (Pachic Ultic Argixerolls) (Soil Survey Staff, 2010). Em seguida, citado na Seção de Referências como segue:

Soil Survey Staff, 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11^a ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

Para a descrição dos métodos analíticos - iSe as técnicas forem amplamente conhecidas, use apenas seus nomes e dê a citação que descreve o método. No entanto, qualquer modificação significativa em um método deve ser descrita. Para um método completamente novo, é importante que todos os detalhes sejam fornecidos. Nem todos os materiais precisam ser identificados pelo nome da marca e pelo fabricante. Os critérios para inclusão de um produto específico pelo nome da marca são baseados em se ele é essencial para o resultado da pesquisa e na disponibilidade (por exemplo, comum a vários fornecedores). Quando um produto deve ser identificado pelo nome comercial, adicione o nome do fabricante ou de um grande distribuidor e a cidade de sua sede de vendas, entre parênteses após a primeira menção do produto. Para materiais especialmente adquiridos ou proprietários, dê as propriedades químicas e físicas relevantes (por exemplo, pureza, pH, concentração) (consulte a **seção Nomenclatura e Unidades abaixo para obter mais detalhes**). Plantas e outros organismos, incluindo vírus, insetos, bactérias e patógenos, devem ser identificados com precisão na primeira menção pelo nome científico (com autoridade para plantas) e nome da cultivar, se aplicável. Todas as unidades devem ser formatadas de acordo com o sistema SI (veja a **seção Nomenclatura e Unidades abaixo para mais detalhes**).

Nomenclatura e Unidades

Autores e editores são, por acordo geral, obrigados a aceitar as regras que regem a nomenclatura biológica, conforme estabelecidas nas edições mais recentes do *Código Internacional de Nomenclatura Botânica*, do *Código Internacional de Nomenclatura de Bactérias* e do *Código Internacional de Nomenclatura Zoológica*.

Toda biota (cultivos, plantas, insetos, pássaros, mamíferos, microrganismos, etc.) deve ser identificada por seus nomes científicos (o binomial ou trinomial latino e autoridade) quando mencionados pela primeira vez. Nomes binários, consistindo de um nome genérico e um epíteto específico (por exemplo, *Escherichia coli*) devem ser usados para microrganismos.

A grafia dos nomes bacterianos deve seguir a Nomenclatura Bacteriana Atualizada (<http://www.dsmz.de/bacterial-diversity/bacterial-nomenclature-up-to-date.html>) e a Lista de Nomes Procarióticos com Posição na Nomenclatura (<http://www.bacterio.cict.fr/>). Se houver razão para usar um nome que não tenha posição na nomenclatura, o nome deve ser colocado entre aspas no título e em seu primeiro uso no resumo e no texto, e uma declaração apropriada sobre o status nomenclatural do nome deve ser feita no texto.

Todos os biocidas e outros compostos orgânicos devem ser identificados por seus nomes de Genebra quando usados pela primeira vez no texto. Os ingredientes ativos de todas as formulações devem ser identificados da mesma forma. Se um produto comercialmente disponível for mencionado, na primeira vez o nome e a localização do fabricante devem ser incluídos entre parênteses.

Produtos químicos quando apresentados pela primeira vez com o nome comum aceito e o nome químico (incluindo pesticidas). Para nomenclatura química, as convenções da *União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC)* devem ser seguidas. Para enzimas, use o nome recomendado (trivial) atribuído pelo Comitê de Nomenclatura da União Internacional de Bioquímica (IUB) conforme descrito em Nomenclatura de Enzimas e (<http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/>) as recomendações oficiais da *Comissão Combinada de Nomenclatura Bioquímica da IUPAC-IUB* devem ser seguidas.

Se um nome não recomendado for usado, coloque o nome próprio (trivial) entre parênteses no primeiro uso no resumo e no texto. Use o número EC quando um tiver sido atribuído. Autores de artigos descrevendo estudos enzimológicos devem revisar os padrões da Comissão STRENDA para obter informações necessárias para a descrição adequada das condições experimentais e para relatar dados de atividade enzimática.

Figuras

O periódico permite no máximo 6 a 8 figuras e tabelas *. Por favor, envie as figuras em um arquivo separado ou no final do arquivo de texto (incorporá-las ao texto do manuscrito **não é permitido**).

* Caso o número de figuras e tabelas exceda 8, isso deve ser justificado na Carta de Apresentação aos Editores.

Tabelas

O periódico permite no máximo 6 a 8 figuras e tabelas * . Cada tabela deve ser enviada em uma página separada.

* Caso o número de figuras e tabelas exceda 8, isso deve ser justificado na Carta de Apresentação aos Editores.

Por favor, não inclua mapas em sua submissão se eles não forem necessários. Se você estiver simplesmente mostrando locais de amostragem, os editores ficarão satisfeitos com uma simples referência às coordenadas de GPS. Por favor, note que fica a critério do editor decidir se os mapas são necessários ou não.

Após receber uma decisão final

Serviço de transferência de artigos

Se o seu manuscrito for mais adequado para um periódico alternativo da Elsevier, você poderá receber um e-mail solicitando que considere transferir seu manuscrito por meio do Serviço de Transferência de Artigos da Elsevier .

A recomendação pode vir do editor do periódico, de um editor científico interno dedicado , de uma recomendação assistida por ferramenta ou de uma combinação delas.

Se você concordar com a recomendação, seu manuscrito será transferido e revisado de forma independente pelos editores do novo periódico. Você terá a oportunidade de fazer revisões, se necessário, antes que a submissão seja concluída no periódico de destino.

Acordo de publicação

Os autores serão solicitados a concluir um acordo de publicação após a aceitação. O autor correspondente receberá um link para o acordo on-line por e-mail. Aconselhamos que você leia as políticas da Elsevier relacionadas a direitos autorais para saber mais sobre nossas políticas de direitos autorais e seus direitos adicionais, e os de seu empregador/instituição, para artigos de assinatura e acesso aberto dourado.

Opções de licença

Os autores receberão opções de licença de usuário de acesso aberto que determinarão como você e terceiros podem reutilizar seu artigo de acesso aberto dourado. Aconselhamos que você revise essas opções e quaisquer requisitos de licença de órgão financiador antes de selecionar uma opção de licença.

Acesso aberto

Recomendamos que você consulte nossa página de informações de acesso aberto para saber mais sobre as opções de acesso aberto para este periódico.

Permissão para obras protegidas por direitos autorais

Se trechos de outras obras protegidas por direitos autorais forem incluídos em seu artigo, você deverá obter permissão por escrito dos detentores dos direitos autorais e creditar a(s) fonte(s) em seu artigo usando o formulário de solicitação de permissão e licença da Elsevier (Word).

Correção de prova

Para garantir um processo de publicação rápido, solicitaremos que você forneça correções de provas em até dois dias.

Os autores correspondentes receberão um e-mail que inclui um link para nosso sistema de revisão on-line, permitindo anotações e correções de provas on-line. O ambiente é semelhante ao Word. Você pode editar texto, comentar figuras e tabelas e responder a perguntas levantadas por nosso editor de texto. Nosso serviço de revisão baseado na web garante um processo mais rápido e menos sujeito a erros.

Você pode escolher anotar e carregar suas edições na versão PDF do seu artigo, se preferir. Nós lhe forneceremos instruções de revisão e métodos de revisão alternativos disponíveis em nosso e-mail.

O propósito da prova é verificar a composição, edição, completude e correção do texto do seu artigo, tabelas e figuras. Alterações significativas no seu artigo na fase de prova só serão consideradas com a aprovação do editor do periódico.

Compartilhar Link

Um Share Link personalizado, fornecendo 50 dias de acesso gratuito à versão final publicada do seu artigo no ScienceDirect, será enviado por e-mail ao autor correspondente. O Share Link pode ser usado para compartilhar seu artigo em qualquer canal de comunicação, como e-mail ou mídia social.

Por uma taxa extra, você terá a opção de pedir separatas em papel. Um link para um formulário de pedido de separata será enviado por e-mail quando seu artigo for aceito para publicação.

Um Share Link não será fornecido se seu artigo for publicado em acesso aberto gold. A versão final publicada do seu artigo em acesso aberto gold estará disponível abertamente no ScienceDirect e pode ser compartilhada por meio do link DOI do artigo.

Compartilhamento responsável

Nós o encorajamos a compartilhar e promover seu artigo para dar visibilidade adicional ao seu trabalho, permitindo que seu artigo contribua para o progresso científico e fomenta a troca de desenvolvimentos científicos dentro de sua área. Leia mais sobre como compartilhar e promover seu artigo de forma responsável.

Recursos para autores

Academia de Pesquisadores Elsevier

Se você precisar de ajuda para melhorar seu envio ou navegar no processo de publicação, o suporte está disponível por meio da Elsevier Researcher Academy.

A Elsevier Researcher Academy oferece módulos de e-learning gratuitos, webinars, guias para download e recursos para redação de pesquisas e processo de revisão por pares.

Serviços de idiomas e edição

Recomendamos que você escreva em inglês americano ou britânico, mas não uma combinação dos dois.

Se você acha que o idioma inglês do seu manuscrito precisa de edição para eliminar possíveis erros gramaticais ou de ortografia e para estar em conformidade com o inglês científico correto, você pode usar o serviço de edição de idioma inglês fornecido pelos Serviços de Autor da Elsevier.

Obtendo ajuda e suporte

Suporte ao autor

Recomendamos que você visite nosso Journal Article Publishing Support Center se tiver dúvidas sobre o processo editorial ou precisar de suporte técnico para sua submissão. Algumas perguntas frequentes populares:

- Como posso acompanhar o status do meu artigo enviado?